



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

ESEIAAT

Titulació:
Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Alumne (nom i cognoms):
Carles Capdevila Caralt

Enunciat TFG:
**ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM
ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS
MAYORES**

Director/a del TFG:
Nuria Forcada Matheu

Co-Director/a del TFG:
Maria Albareda Sambola

Convocatòria de lliurament del TFG:
Quadrimestre de primavera 2018-2019

Contingut d'aquest volum:

DOCUMENT 1.- MEMÒRIA DEL TREBALL



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

ESEIAAT

Carles Capdevila

Data: 10-06-2019

Pàgina: 2 de 106

Document 1: Memòria
del treball

**TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA
RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES**

 <div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 3 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

AGRAÏMENTS

Vull agrair a la doctora en Enginyeria de la Construcció Nuria Forcada tots els consells donats, els dubtes resolts i els conceptes i mètodes ensenyats en els temes relacionats amb els sistemes de climatització i amb el confort tèrmic.

També agrair a la doctora en Matemàtiques Maria Albareda tota l'ajuda proporcionada en la part més estadística d'aquest estudi i tots els consells per a millorar el redactat de la present memòria.

Aquest treball no hauria sigut possible sense l'ajuda i el suport de totes dues.

Haig d'agrair a la meva família, a la meva parella i als meus amics la seva paciència i el seu recolzament, que han sigut vitals durant tot el procés de realització d'aquest Treball de Fi de Grau.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div> <div>ESEIAAT</div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 4 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

RESUM

Qualsevol edifici requereix energia en el seu funcionament habitual: per a la il·luminació, per al funcionament d'electrodomèstics, per a la circulació d'aigua sanitària pel seu interior, per a garantir una correcta ventilació, per a mantenir unes condicions de temperatura i humitat adients al seu interior... D'aquests consums, en destaquen especialment els de ventilació i climatització, a causa de l'elevat percentatge que suposen respecte del consum global i del marge de millora que tenen en la majoria dels edificis que hi ha construïts actualment.

A més, aquests dos consums afecten directament el confort dels habitants, ja que van estretament lligats al seu confort tèrmic, és a dir, a que aquests es sentin còmodes en quant a la temperatura que perceben. Hi ha nombrosos estudis sobre l'ús de l'energia i sobre les condicions de confort, però realment pocs es centren en edificis com residències per a gent de la tercera edat, on el control de certs aspectes com la temperatura i la humitat al seu interior és encara més crític que en altres tipus d'edificis tant pel confort dels residents com per la seva salut.

Aquest estudi consisteix en l'anàlisi de l'afectació de les variacions de temperatura i humitat de les sales comunes, que és on els residents passen la major part del dia, als consums elèctric i de gas de les residències ubicades en climes mediterranis continentals, tals com la residència Sagrada Família de Sanitas Mayores, ubicada a Barcelona. Aquest és el centre en el qual es centra el present estudi.

L'estudi es realitza a partir de dades de condicions ambientals de l'interior i de l'exterior de la residència, i dels consums d'electricitat i de gas d'aquesta. Es realitzen diversos models de regressió lineal per a estimar l'afectació d'aquestes condicions de temperatura i humitat als diferents consums energètics. A continuació, s'estudia les repercussions en els consums de mantenir en les sales objecte d'estudi de residència la temperatura de confort calculada a partir de diversos models de confort tèrmic.

Esmentar que els models de consum d'electricitat per a refrigeració obtinguts semblen ser vàlids, i amb ells s'estima l'estalvi de refrigeració de les sales objecte d'estudi, que resulta ser proper al 40 % en un dels models de confort tèrmic.

Els models de consum de gas per a calefacció obtinguts no semblen ser vàlids per diverses causes, i per tant no s'ha pogut determinar correctament si es pot produir un estalvi en aquest consum de calefacció per a les sales estudiades.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div> <div>ESEIAAT</div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 5 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

ABSTRACT

Any building requires energy in its usual operation: for illumination, for the operation of electrical appliances, for the circulation of sanitary water through it, to guarantee correct ventilation, to keep suitable temperature and humidity conditions inside... Among these consumptions, it is worth mentioning those of heating and air conditioning, due to the high percentage they suppose with respect to the global consumption and of the margin for improvement that they have in the majority of the buildings that there are currently built.

In addition, these two consumptions directly affect the comfort of the inhabitants, as they are closely linked to their thermal comfort, that is, to make them feel comfortable with the temperature they perceive. There are numerous studies on the use of energy and comfort conditions, but there are not many focusing on buildings such as residences for the elderly, where control of certain aspects such as temperature and humidity in their interior is even more critical than in other types of buildings, both for the comfort of residents and for their health.

This study consists in the analysis of how the variations in temperature and humidity in the common rooms, where residents spend most of the day, affect the electricity and gas consumption of residences located in continental Mediterranean climates, such as the Sagrada Família residence of Sanitas Mayores, located in Barcelona. This particular centre is the focus of this study.

This study is based on data on the environmental conditions of the interior and exterior of the residence, and on its electricity and gas consumption. Several models of linear regression are calculated to estimate the effect of these conditions of temperature and humidity on the different energy consumption. Next, we study the repercussions on the consumption of maintaining the temperatures calculated from various models of thermal comfort in the rooms that are under study of the residence.

To mention that the cooling electricity consumption models appear to be valid, and with them, it is estimated the refrigeration savings of the rooms under study, which are estimated to be close to 40 % in one of the thermal comfort models.

The heating gas consumption models obtained did not appear to be valid for various reasons, and therefore it is not possible to determine correctly if there could be a saving in this heating consumption for the rooms studied.

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p>
<p>Pàgina: 6 de 106</p>		
<p>Document 1: Memòria del treball</p>		
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

DECLARACIÓ D'HONOR

I declare that,

the work in this Master Thesis / **Degree Thesis** (*choose one*) is completely my own work,

no part of this Master Thesis / **Degree Thesis** (*choose one*) is taken from other people's work without giving them credit,

all references have been clearly cited,

I'm authorised to make use of the company's / research group (*choose one*) related information I'm providing in this document (*select when it applies*).

I understand that an infringement of this declaration leaves me subject to the foreseen disciplinary actions by *The Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH*.

Carles Capdevila Caralt

10 / 06 / 2019

Student Name

Signature

Date

Title of the Thesis :

ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div> <td rowspan="3">Carles Capdevila</td> <td>Data: 10-06-2019</td>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 7 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

ÍNDEX DE CONTINGUTS

ÍNDEX DE CONTINGUTS.....	7
1. INTRODUCCIÓ.....	17
1.1. OBJECTE	17
1.2. ABAST	17
1.3. ESPECIFICACIONS BÀSIQUES.....	18
1.4. JUSTIFICACIÓ.....	18
2. ESTAT DE L'ART.....	19
2.1. INTRODUCCIÓ.....	19
2.2. AVALUACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC.....	20
2.2.1. Model de vot mitjà previst (PMV).....	21
2.2.2. Model adaptatiu del confort tèrmic.....	22
2.3. EL CONFORT TÈRMIC EN LA GENT GRAN	23
2.4. EL CONFORT TÈRMIC I EL CONSUM ENERGÈTIC	25
2.4.1. Casos d'estudi.....	25
2.4.2. Implicacions en les normatives del confort tèrmic.....	27
2.4.3. Models de confort tèrmic	29
3. METODOLOGIA.....	32
3.1. CARACTERITZACIÓ DE L'EDIFICI SAGRADA FAMÍLIA DE SANITAS MAYORES.....	32
3.2. DESCRIPCIÓ DE LA MOSTRA	32
3.3. PREPARACIÓ DE LES DADES	33
3.3.1. Depuració de la base de dades.....	33
3.3.2. Classificació de les lectures i càlcul dels consums rectificats	34

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 8 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

3.3.3.	Unificació de les mesures internes i externes i càlcul dels paràmetres tèrmics exteriors.	35
3.4.	ANÀLISI DE LES DADES.....	35
3.4.1.	ANÀLISI DESCRIPTIVA DE LES DADES	35
3.4.2.	MODELITZACIÓ DELS CONSUMS MITJANÇANT REGRESSIONS LINEALS 35	
3.4.3.	CÀLCUL DE LA TEMPERATURA DE CONFORT SEGONS ELS DIFERENTS MODELS.....	37
3.4.4.	CÀLCUL DEL CONSUM ASSOCIAT A LA CLIMATITZACIÓ DE LES SALES COMUNES A PARTIR DE LA TEMPERATURA DE CONFORT SEGONS ELS DIFERENTS MODELS.....	37
4.	CARACTERITZACIÓ DE L'EDIFICI.....	38
4.1.	DESCRIPCIÓ DE L'EDIFICI.....	38
4.2.	RUTINA DELS RESIDENTS	42
4.3.	SALES COMUNES OBJECTE D'ESTUDI DE LA RESIDÈNCIA	42
4.4.	INSTAL·LACIONS DE CLIMATITZACIÓ DE L'EDIFICI.....	45
5.	DESCRIPCIÓ DE LA MOSTRA	47
6.	PREPARACIÓ DE LES DADES.....	54
6.1.	DEPURACIÓ DE LA BASE DE DADES	54
6.2.	CLASSIFICACIÓ DE LES LECTURES I CÀLCUL DELS CONSUMS RECTIFICATS.....	57
6.2.1.	Dia / Nit	57
6.2.2.	Època neutra / de calefacció / de refrigeració.....	58
6.2.3.	Càlcul dels consums base.....	60
6.2.4.	Càlcul de les àrees climatitzades	62
6.2.5.	Càlcul dels consums rectificats	64
6.3.	UNIFICACIÓ DE LES MESURES INTERNES I EXTERNES I CÀLCUL DELS PARÀMETRES TÈRMICS EXTERIORS.....	65

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 9 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

7. ANÀLISI DE LES DADES	67
7.1. ANÀLISI DESCRIPTIVA DE LES DADES	67
7.2. MODELITZACIÓ DELS CONSUMS MITJANÇANT REGRESSIONS LINEALS	73
7.2.1. Model per a les sales comunes de la planta baixa en l'època de refrigeració ..	74
7.2.2. Model per a les sales comunes de les plantes primera i segona en l'època de refrigeració	75
7.2.3. Anàlisi dels models de consum de refrigeració de les sales comunes	77
7.2.4. Model per a les sales comunes de la planta baixa en l'època de calefacció	77
7.2.5. Model per a les sales comunes de les plantes primera i segona en l'època de calefacció	79
7.2.6. Anàlisi dels models de consum de calefacció de les sales comunes	81
7.3. CÀLCUL DE LA TEMPERATURA DE CONFORT SEGONS ELS DIFERENTS MODELS	81
7.3.1. Comparació de les temperatures monitoritzades i de confort a l'època de refrigeració	83
7.3.2. Comparació de les temperatures monitoritzades i de confort a l'època de calefacció	85
7.4. CÀLCUL DEL CONSUM ASSOCIAT A LA CLIMATITZACIÓ DE LES SALES COMUNES A PARTIR DE LA TEMPERATURA DE CONFORT SEGONS ELS DIFERENTS MODELS	86
7.4.1. Càlcul del consum elèctric de climatització de les sales comunes segons els diferents models a l'època de refrigeració	87
7.4.2. Càlcul del consum de gas de climatització de les sales comunes segons els diferents models a l'època de calefacció	91
8. CONCLUSIONS	96
8.1. RECOMANACIONS DE CONTINUACIÓ DEL TREBALL	97
9. ESTUDI D'IMPACTE AMBIENTAL	99
10. RESUM DEL PRESSUPOST	100

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <hr/> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p>
		<p>Pàgina: 10 de 106</p>
		<p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

11. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES..... 101

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div> <td rowspan="3">Carles Capdevila</td> <td>Data: 10-06-2019</td>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 11 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1: Escala de 7 punts de sensació tèrmica de ASHRAE	21
Figura 2: Ubicació de l'edifici Sagrada Família de Sanitas Mayores	38
Figura 3: Esquema de distribució de la planta -2	39
Figura 4: Esquema de distribució de la planta -1	39
Figura 5: Esquema de distribució de la planta baixa	40
Figura 6: Esquemes de distribució de les plantes 1 i 2, respectivament	40
Figura 7: Esquema de distribució de les plantes 3, 4 i 5	41
Figura 8: Ubicació de les sales comunes a la planta baixa	43
Figura 9: Fotografia de la sala de televisió de la planta baixa	44
Figura 10: Imatge de la caldera més antiga, de gran capacitat	45
Figura 11: Exemple de lectures de la residència (pre-tractament)	47
Figura 12: Representació de l'àrea objecte d'estudi de la primera planta sobre un esquema de distribució d'aquesta planta (en color blau)	63
Figura 13: Representació de l'àrea climatitzada de la primera planta sobre un esquema de distribució d'aquesta planta (en color blau)	63
Figura 14: Fragment de la taula on s'ha calculat la $T_{mitjana}$ i la T_{rm}	66
Figura 15: Histogrames del consum instantani rectificat d'electricitat per zona objecte d'estudi, en l'època de refrigeració	68
Figura 16: Histogrames del consum instantani rectificat de gas per zona objecte d'estudi, en l'època de calefacció	68
Figura 17: Histogrames de les condicions ambientals interiors i exteriors en l'època de refrigeració	70
Figura 18: Histogrames de les condicions ambientals interiors i exteriors en l'època de calefacció	72

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <hr/> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 12 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1: Resum de l'estalvi energètic en edificis refrigerats (en ordre cronològic).	26
Taula 2: Resum de treballs sobre implicacions de models adaptatius sobre estàndards de confort tèrmic (en ordre cronològic).	28
Taula 3: Resum de la superfície per planta de la residència.	41
Taula 4: Llegenda de les variables del centre Sagrada Família.	47
Taula 5: Límits d'inici i final de cada època.	60
Taula 6: Mitjana de consum instantani d'electricitat a l'època de refrigeració al llarg del dia per hores.	61
Taula 7: Mitjana de consum instantani de gas a l'època de calefacció al llarg del dia per hores.	61
Taula 8: Resum de superfícies climatitzades per planta.	64
Taula 9: Factors de proporció per zona objecte d'estudi.	64
Taula 10: Principals valors estadístics dels consums instantanis rectificats tant d'electricitat com de gas.	67
Taula 11: Principals valors estadístics de les condicions ambientals interiors i exteriors en l'època de refrigeració.	69
Taula 12: Principals valors estadístics de les condicions ambientals interiors i exteriors en l'època de calefacció.	71
Taula 13: Resultats de l'anàlisi de correlació entre les variables Text, Tmitjana i Trm.	73
Taula 14: Resum dels consums mensuals i comparativa dels consums segons el model, amb el consum de refrigeració de les sales comunes de la planta baixa.	89
Taula 15: Resum dels consums mensuals i comparativa dels consums segons el model, amb el consum de refrigeració de les sales comunes de les plantes 1 i 2.	89

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 13 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

Taula 16: Resum dels consums mensuals i comparativa dels consums segons el model, amb el consum de refrigeració de totes les sales comunes de les plantes objecte d'estudi90

Taula 17: Resum dels consums mensuals i comparativa dels consums segons el model, amb el consum de calefacció de la planta baixa.....93

Taula 18: Resum dels consums mensuals i comparativa dels consums segons el model, amb el consum de calefacció de les plantes 1 i 2.....94

Taula 19: Resum dels consums mensuals i comparativa dels consums segons el model, amb el consum de calefacció de totes les plantes objecte d'estudi94

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div> <td rowspan="3">Carles Capdevila</td> <td>Data: 10-06-2019</td>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 14 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

ÍNDEX DE GRÀFICS

Gràfic 1: Consum elèctric al llarg de l'any.....	48
Gràfic 2: Consum de gas al llarg de l'any	49
Gràfic 3: Humitat relativa de la zona objecte d'estudi de la planta baixa al llarg de l'any	50
Gràfic 4: Temperatura de la zona objecte d'estudi de la planta baixa al llarg de l'any.....	50
Gràfic 5: Temperatura de la zona objecte d'estudi de la primera planta al llarg de l'any	51
Gràfic 6: Temperatura de la zona objecte d'estudi de la segona planta al llarg de l'any	51
Gràfic 7: Temperatura exterior al llarg de l'any	52
Gràfic 8: Humitat relativa exterior al llarg de l'any	53
Gràfic 9: Consum instantani de gas al llarg de l'any i època de calefacció	58
Gràfic 10: Consum instantani d'electricitat al llarg de l'any i època de refrigeració.....	59
Gràfic 11: Gràfic probabilístic Normal dels residus del model del consum elèctric a la planta baixa	74
Gràfic 12: Gràfic de dispersió dels residus del model del consum elèctric a la planta baixa versus valors modelitzats	75
Gràfic 13: Gràfic probabilístic Normal dels residus del model del consum elèctric a les plantes primera i segona.....	76
Gràfic 14: Gràfic de dispersió dels residus del model del consum elèctric a les plantes primera i segona versus valors modelitzats	76
Gràfic 15: Gràfic probabilístic Normal dels residus del model del consum de gas a la planta baixa	78
Gràfic 16: Gràfic de dispersió dels residus del model del consum de gas a la planta baixa versus valors modelitzats	78
Gràfic 17: Gràfic probabilístic Normal dels residus del model del consum de gas a les plantes primera i segona.....	79

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 15 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

Gràfic 18: Gràfic de dispersió dels residus del model del consum de gas a les plantes primera i segona versus valors model·litzats	80
Gràfic 19: Comparació entre la temperatura de la planta baixa i les temperatures de confort segons diversos models, en l'època de refrigeració.....	84
Gràfic 20: Comparació entre la temperatura de les plantes 1 i 2 i les temperatures de confort segons diversos models, en l'època de refrigeració.....	84
Gràfic 21: Comparació entre la temperatura de la planta baixa i les temperatures de confort segons diversos models, en l'època de calefacció	85
Gràfic 22: Comparació entre la temperatura de les plantes 1 i 2 i les temperatures de confort segons diversos models, en l'època de calefacció	86
Gràfic 23: Comparació dels consums acumulats d'electricitat en l'època de refrigeració corresponents a la planta baixa.....	87
Gràfic 24: Comparació dels consums acumulats d'electricitat en l'època de refrigeració corresponents a les plantes 1 i 2	88
Gràfic 25: Comparació dels consums acumulats de gas en l'època de calefacció corresponents a la planta baixa	91
Gràfic 26: Comparació dels consums acumulats de gas en l'època de calefacció corresponents a les plantes 1 i 2	92
Gràfic 27: Diagrama de Gantt de la planificació d'un hipotètic estudi realitzat l'any 2020 i amb dades del 2019.....	98

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div> <div>ESEIAAT</div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 16 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

ÍNDEX D'EQUACIONS

Equació 1: Model de confort d'Auliciems	29
Equació 2: Càlcul de la $T_{e,ref}$	30
Equació 3: Model de confort de Peeters.....	30
Equació 4: Model de confort experimental de la UPC.....	30
Equació 5: Càlcul de la T_{rm}	31
Equació 6: Càlcul del consum rectificat	64
Equació 7: Model del consum de refrigeració de la sala objecte d' estudi de la planta baixa.	74
Equació 8: Model del consum de refrigeració de les sales objecte d'estudi de les plantes 1 i 2	75
Equació 9: Model del consum de calefacció de la sala objecte d' estudi de la planta baixa ..	77
Equació 10: Model del consum de calefacció de les sales objecte d' estudi de les plantes 1 i 2	79

<div></div> <div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div>	<div>Carles Capdevila</div>	<div>Data: 10-06-2019</div>
		<div>Pàgina: 17 de 106</div>
		<div>Document 1: Memòria del treball</div>
<div>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</div>		

1. INTRODUCCIÓ

1.1. OBJECTE

L'objecte d'aquest treball de fi de grau és analitzar com les condicions de temperatura i humitat de les sales comunes de les residències per a gent gran, on els residents passen la major part del dia, afecten als consums elèctric i de gas, en el context de residències ubicades en climes mediterranis continentals com és el cas de la residència Sagrada Família de Sanitas Mayores, ubicada a Barcelona, d'on s'ha obtingut les dades mitjançant sensors.

La importància d'aquest treball recau en que, tal i com ja s'ha dit al resum, el consum energètic provinent de la ventilació i climatització d'aquests centres, i per tant els costos ambientals i econòmics, són molt elevats, però alhora les condicions de temperatura i humitat al seu interior són vitals per a garantir el confort i la salut de la gent gran que hi viu.

1.2. ABAST

- Anàlisi de l'estat de l'art, en referència als estudis i models realitzats relacionats amb l'afectació del confort tèrmic als diferents consums d'un edifici, i més concretament els referents a centres residencials per a gent gran.
- Visita al centre residencial Sagrada Família de Sanitas Mayores, d'on s'ha extret les dades, per tal d'entendre millor la distribució de l'edifici, els sistemes de calefacció i de refrigeració, i les característiques tant de l'edifici com de les rutines dels residents.
- Depuració de les dades de temperatura i humitat provinents dels sensors ubicats en les sales comunes de les plantes baixa, primera i segona de la residència, així com de les lectures dels consums de gas i d'electricitat de l'edifici.
- Obtenció i depuració de les dades de temperatura i humitat de l'exterior de l'edifici.
- Càlcul de les condicions de confort tèrmic de les sales d'estar ja citades, segons diferents models de normatives i estàndards ja existents (a partir de lectures de temperatura i humitat tant interiors com exteriors).
- Elaboració d'uns models de consums de gas i electricitat en funció de les temperatures i humitats interiors i exteriors.
- Estimació dels hipotètics consums de gas i elèctric necessaris per a mantenir les condicions interiors de confort tèrmic calculades segons els diferents models, i anàlisi de possibles increments o decrements en aquests consums respecte els de les dades obtingudes.
- Discussió dels resultats obtinguts i conclusions.

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 18 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

1.3. ESPECIFICACIONS BÀSIQUES

- Les dades amb les que es treballa són les provinents dels sensors instal·lats en les sales comunes de les plantes baixa, primera i segona de la residència Sagrada Família de Sanitas Mayores. Els sensors proporcionen lectures de moltes variables diferents, d'entre les quals ens interessen: temperatura [°C], humitat relativa [%], consums elèctrics [kW] i consums de gas [m³ gas natural].
- S'usen bàsicament dos programes informàtics per als processos relacionats amb aquestes dades: el "Microsoft Excel" per a la depuració de dades i el "SPSS Statistics" de IBM pel tractament i anàlisi d'aquestes. També s'ha utilitzat el programa "DWG TrueView" d'Autocad per a visualitzar els plànols de la residència.
- Pels càlculs relacionats amb el confort tèrmic, s'usen els resultats d'estudis ja realitzats per tercers, ja que aquesta qüestió queda fora de l'abast del present estudi.

1.4. JUSTIFICACIÓ

Tal i com ja s'ha comentat, dos dels principals consums energètics en les residències per a gent gran són els derivats de mantenir una bona ventilació i climatització de l'edifici. Aquests consums, però, estan estretament lligats a les condicions ambientals de consigna, les quals en molts casos es defineixen mitjançant models que són adients per a la població estàndard, però no per a la gent de la tercera edat, ja que les seves condicions de confort són diferents.

No es pot obviar que el manteniment d'aquestes condicions és vital tant pel confort com pel bon estat de salut dels residents, ja que posseeixen una sensibilitat tèrmica més accentuada. En concret, és vital mantenir un bon nivell d'aquestes condicions en les sales comunes, que és on la majoria dels residents passen bona part del dia.

A això cal afegir-hi que les normatives vigents no discriminen segons la tipologia de l'edifici, i s'hi defineixen rangs de condicions ambientals molt genèrics, sense tenir en compte factors que afecten directament al confort i a la sensació tèrmica. Hi ha realment pocs estudis sobre com el manteniment de les condicions de confort afecten als consums d'un edifici, però alhora aquest tema és i serà vital per a dissenyar, projectar i construir els nous edificis respectuosos amb el medi ambient, on l'eficiència i sostenibilitat energètica són punts clau.

Per això, en aquest estudi s'analitzarà com les variacions de temperatura i humitat afecten als consums d'electricitat i de gas (que comporten uns costos ambientals i econòmics, en conseqüència), i mitjançant un model de regressió es calcularà una aproximació d'aquests consums si realment les condicions consigna fossin les de confort tèrmic per als membres de la població d'edat més avançada.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 19 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

2. ESTAT DE L'ART

2.1.INTRODUCCIÓ

Segons les Nacions Unides (2017), l'esperança de vida en els últims anys ha anat augmentant, elevant així el nombre de persones grans. El 2017, s'estima que hi havia 962 milions de persones de 60 anys o més en el món, que representaven un 13 % de la població mundial. La població de 60 anys o més està creixent a una taxa del voltant del 3 per cent per any. Actualment, Europa té el major percentatge de població de 60 anys o més (25 %). També es preveu que el nombre de persones de 80 anys o més es tripliqui pel 2050, i que pel 2100 augmenti a casi set vegades el seu valor del 2017.

A Espanya, el 18,7 % de la població total comptabilitzada en tot l'estat el gener de 2016 corresponia a persones majors de 65 anys, dada que registra una tendència a l'alça. Dels 8,7 milions de persones majors de 65 anys, un total de 1,36 milions, és a dir, un 2,9 % de la població total, corresponia a persones majors de 85 anys.

D'aquesta manera, l'índex de senectut, que mesura la proporció de persones majors de 85 anys sobre la població major de 65 anys, es va situar el gener de 2016 en un 15,6 %, enfront del 10,7 % de 2002, el que mostra el progressiu grau d'envelliment de la població espanyola.

A Espanya, l'oferta total de places en residències per a gent gran va registrar un creixement del 0,9 % el 2016, similar al 0,7 % comptabilitzat en l'exercici anterior. Així, a finals de 2016 es comptabilitzaven unes 375.600 places.

L'estructura empresarial del sector es caracteritza per la presència majoritària d'entitats de mida petita dedicades a la gestió d'un centre, les quals coexisteixen amb un nombre més reduït d'operadors de certa grandària que gestionen un ampli nombre de residències. Aquest últim grup ha reforçat en els últims anys la seva posició en el mercat mitjançant operacions de compra, augmentant el grau de concentració empresarial. Així, el 2016 els cinc primers competidors -Grup SARquavita, Sanitas Mayores, Ballesol, Grup AMMA i ORPEA Ibérica- van aconseguir una participació conjunta del 16,4 % sobre el valor del mercat total, enfront de la quota del 15,2 % assolida el 2014.

El 2016 la demanda de serveis residencials va continuar augmentant pel progressiu envelliment de la població i pel creixement de l'oferta de places, en un context marcat pel creixement econòmic, el que va permetre augmentar la capacitat de despesa de les famílies.

Els principals operadors han continuat amb els processos d'expansió de la seva xarxa de residències, principalment a través d'adquisicions de xarxes de centres ja en funcionament i l'obertura de centres de nova creació.

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 20 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

Considerant que les persones majors de 65 anys passen una part considerable de les seves vides a l'interior, el consum d'energia per mantenir les condicions ambientals interiors d'aquests centres és alt (Mendes et al. 2015). Clarament, el confort tèrmic d'aquests centres no pot ignorar-se.

Analitzar com afecta el confort tèrmic al consum energètic és necessari tant per dissenyar espais agradables com per garantir el benestar i la salut dels ocupants dels edificis. Un bon disseny i gestió dels edificis construïts no només ofereix una sensació tèrmica confortable als ocupants, sinó que també determina la quantitat d'energia que consumiran els sistemes de refrigeració i calefacció de l'edifici. En el context actual de canvi climàtic i escalfament global, la inclusió del concepte de confort tèrmic adaptatiu en els estàndards de confort tèrmic permet adoptar noves estratègies d'eficiència i estalvi energètic i complir consistentment amb els requisits del desenvolupament sostenible.

Tant les normes internacionals ISO 7730:2005 i ASHRAE Standard 55:2013 com l'EN 15251:2007 tenen com a objectiu especificar les condicions ambientals recomanables per una població de mitjana edat, ja que es basen principalment en oficines, on els usuaris solen tenir entre 20 i 65 anys. La majoria de les persones en centres residencials són majors de 65 anys.

Els estudis de camp mostren que les normatives existents actuals no es poden aplicar a la gent gran perquè les seves respostes tèrmiques són diferents. Aquest segment de població té unes característiques molt específiques com ara nivells d'activitat més baixos, no poder canviar fàcilment el seu nivell d'activitat o de roba, manca de vasoconstricció que pot fer disminuir la sensació tèrmica, o més tolerància a la calor que pot causar deshidratació a l'estiu.

L'aplicació de models de confort ambiental per a la gent gran ofereix la possibilitat de millorar la seva qualitat de vida i al mateix temps pot oferir addicionalment un estalvi d'energia. És per això que s'analitzarà com els paràmetres de confort tèrmic determinats a partir dels models analítics existents afecten el consum energètic dels centres residencials. D'aquesta manera, es podrà determinar de manera objectiva l'eficiència energètica d'aquests centres.

2.2. AVALUACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC

El confort tèrmic pot descriure's com les característiques de l'ambient que afecten l'intercanvi de calor entre el cos humà i el medi ambient (ASHRAE 2013). El confort tèrmic depèn tant de paràmetres físics com fisiològics i es veu afectat pel vestuari, l'activitat, l'edat, l'estat de salut, el sexe i l'adaptació al clima i a l'entorn local de l'individu i l'espai (Vandentorren et al. 2006).

Quan es parla d'avaluació del confort tèrmic, hi ha dos models principals que poden utilitzar-se: el model de vot mitjà previst (PMV, per les sigles en anglès de "Predicted Mean Vote") i el model adaptatiu.

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 21 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

2.2.1. Model de vot mitjà previst (PMV)

El model més utilitzat per avaluar el confort tèrmic general o del cos és el model del vot mitjà previst (PMV) de Fanger (1973). Segons aquest model perquè una determinada situació pugui considerar-se tèrmicament confortable ha de complir-se, com a condició bàsica, que permeti als mecanismes fisiològics encarregats de la termoregulació assolir l'equilibri tèrmic; és a dir, que el cos sigui capaç d'equilibrar la calor guanyada (ja sigui d'origen metabòlic o procedent de l'entorn) i la calor eliminada mitjançant diferents procediments.

No obstant això, assolir l'equilibri tèrmic no garanteix el confort. El mètode de Fanger considera el nivell d'activitat (met), les característiques de la roba (clo), la temperatura seca (T_a), la humitat relativa (HR), la temperatura radiant mitjana (T_{rd}) i la velocitat de l'aire (va). Totes aquestes variables influeixen en els intercanvis tèrmics humà-entorn, afectant a la sensació de confort.

El PMV s'expressa en l'escala ASHRAE de 7 punts de sensació tèrmica (fred, fresc, lleugerament fred, neutre, lleugerament calent, càlid, calent). El resultat del model és una hipotètica sensació tèrmica de vot per a una persona mitjana: és a dir, la resposta mitjana de moltes persones amb vestimenta i nivells d'activitat equivalents, que estan exposades a condicions ambientals idèntiques i uniformes. ASHRAE (2013) defineix la sensació tèrmica com un sentiment conscient, que requereix una avaluació subjectiva. El model PMV l'adopten les normes internacionals ISO 7730 (2005), ASHRAE Standard 55 (2013) i EN 15251 (2007). Aquests estàndards tenen com a objectiu especificar les condicions de confort de persones de mitjana edat dins de l'edifici. La EN 15251 (2007) esmenta que, per als espais ocupats per persones molt sensibles i fràgils, el PMV s'ha de mantenir entre -0,2 i +0,2 en l'escala termal de ASHRAE de 7 punts. La norma EN 15251 (2007) inclou tres categories (I, II i III) i indica que la categoria més restrictiva s'ha d'adoptar per als ocupants d'edat avançada, mentre que la norma de ASHRAE 55 (2013) presenta només 2 rangs (80 % o 90 % de persones satisfetes) i cap indicació específica per a la gent gran.

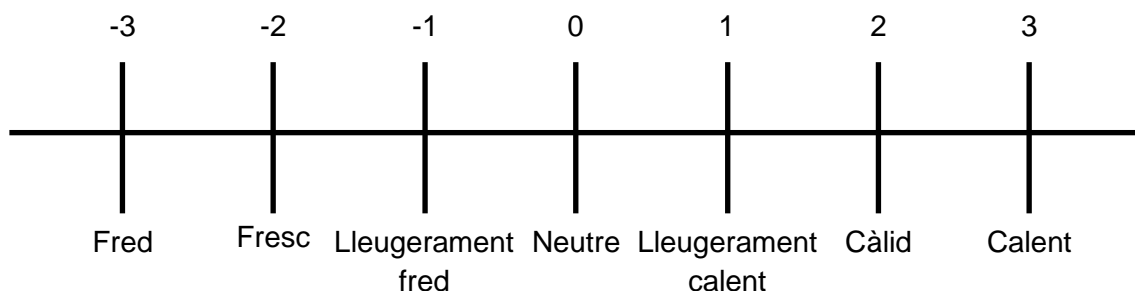


Figura 1: Escala de 7 punts de sensació tèrmica de ASHRAE

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 22 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

El model PMV de Fanger és àmpliament utilitzat i acceptat en el camp de l'avaluació del confort tèrmic. Tot i això, es tracta d'un model estacionari (model estàtic) i per tant no té en compte les variacions de temperatura al llarg del dia, ja que és resultat d'investigacions en càmeres tèrmiques, i només és aplicable a humans exposats durant un llarg període a condicions constants i amb una taxa metabòlica constant i no considera l'adaptació dels ocupants per aconseguir unes condicions de confort (Fanger 1973).

Aquests motius han fet que hi hagi autors de la comunitat investigadora que dubten de la capacitat predictiva del model PMV en edificis reals, plantejant altres models.

2.2.2. Model adaptatiu del confort tèrmic

El criteri adaptatiu és el resultat d'estudis de camp el propòsit dels quals era el d'analitzar l'acceptabilitat real d'ambients tèrmics, que depèn estretament del context, el comportament dels ocupants i les seves expectatives.

Al contrari d'en el model estàtic de confort tèrmic, en el model adaptatiu les persones juguen un paper instrumental creant les seves pròpies preferències tèrmiques a través de la manera en què ells interactuen amb l'ambient, modifiquen el seu propi comportament o gradualment adapten les seves expectatives en funció de l'ambient tèrmic en el qual es troben (Brager & de Dear 1998). Una definició genèrica del terme "adaptació" podria ser una disminució gradual de la resposta de l'organisme a una estimulació repetida de l'ambient.

En els últims anys molts autors han sumat estudis de camp als de laboratori amb l'objectiu d'obtenir informació més real sobre el confort en espais de treball. Els estudis de camp també permeten analitzar altres factors que no poden ser simulats en càmeres tèrmiques, com la resposta dels individus en els seus hàbits diaris, la seva vestimenta diària i el seu comportament sense l'existència de cap tipus de restricció (de Dear et al. 1998). La subjectivitat de l'experiència tèrmica i el flux interpretatiu de les complexes interaccions entre els ocupants i el seu ambient han estat el focus d'una important quantitat d'estudis i proporcionen els fonaments teòrics dels estudis sobre el confort tèrmic des d'un punt de vista adaptatiu.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 23 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

De Dear et al. (1998) van concloure que hi ha una tendència a que la temperatura de neutralitat tèrmica augmenti a mesura que augmenta la temperatura exterior. Aquest augment és molt més pronunciat en edificis ventilats de forma natural. Molts autors expliquen aquest augment de la temperatura de neutralitat en part com a resposta adaptativa de comportament dels usuaris, que en conseqüència disminueixen el seu nivell de vestimenta. No obstant això, com ells mateixos demostren, aquest augment només explicaria un percentatge d'aquesta desviació. La resta de la desviació es justifica amb un procés d'adaptació psicològic derivat del nivell d'expectativa. Així, la nostra experiència tèrmica ens indica subconscientment que, en espais exteriors o interiors amb una notable relació amb l'exterior, l'ambient pateix variacions tèrmiques freqüents (de Dear et al. 1998).

ASHRAE Standard 55 (2013) i EN 15251 (2007) inclouen models de confort tèrmic adaptatiu. L'estàndard adaptatiu de ASHRAE només s'aplica a edificis sense refrigeració mecànica instal·lada, mentre que EN15251 pot aplicar-se a edificis de manera mixta, sempre que el sistema no estigui funcionant.

Nicol i Humphreys han liderat la investigació sobre els models de confort adaptatius i han proposat diversos models per tipologies d'edificis amb i sense ventilació (Humphreys M & Nicol F 2017; Nicol F & Humphreys M 2010; Rijal, Humphreys & Nicol 2009).

2.3. EL CONFORT TÈRMIC EN LA GENT GRAN

Atès el ràpid augment de l'envelliment de la població en els últims anys, és important tractar el confort tèrmic d'aquest grup de persones (Hoof et al. 2017; Yang et al. 2016; Alves et al. 2016; Hong et al. 2015; Tweed et al. 2015; Mendes et al. 2013; Mendes et al. 2015; Hwang i Chen 2010; Schellen et al. 2010; Hoof et al. 2010).

Tot i que ASHRAE va suggerir que la sensació tèrmica de la gent gran i dels adults no difereix, i que els efectes del sexe i l'edat es deuen a l'activitat i la roba (és a dir, afirma que l'edat no afecta tant a la sensació tèrmica com el fet que la gent gran és menys activa i porta més roba), diversos estudis han indicat que la sensació tèrmica òptima de les persones grans difereix de la dels adults (Jiao et al. 2017; Schellen et al. 2010; Hwang i Chen 2010; DeGroot 2007; Hoof 2006) i la sensibilitat de les dues poblacions als ambients freds i calents pot variar. El procés d'envelliment biològic pot afectar la percepció del confort tèrmic a causa d'una disminució en la capacitat de regular la temperatura corporal amb l'edat. De mitjana, els adults majors requereixen temperatures ambientals més altes (Hong et al. 2015; Tweed et al. 2015; Hwang i Chen 2010; Schellen et al. 2010; Hoof et al. 2010).

<div></div> <div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 24 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

En general, la gent d'edat més avançada sembla percebre el confort tèrmic de manera diferent als joves a causa d'una combinació d'envelliment físic i diferències conductuals (Hoof et al. 2010; Hoof i Hensen 2006). De mitjana, els adults de més edat tenen un nivell d'activitat menor, i per tant una taxa metabòlica menor, que els més joves, raó principal per la que requereixen temperatures ambientals més altes (Hwang i Chen 2010). La gent gran veu reduïts el múscul, la capacitat de treball, la capacitat de sudoració, la capacitat per transportar calor corporal a la pell, els nivells d'hidratació, la reactivitat vascular, i l'estabilitat cardiovascular. Tsuzuki i Ohfuku (2002) van descobrir que els adults han reduït la sensibilitat a la calor en temporades fredes. La capacitat de regular la temperatura corporal tendeix a disminuir amb l'edat i hi ha una reducció en l'activitat de sudoració de la gent gran en comparació amb els grups d'edat més joves (Hoof i Hensen 2006). Aquestes diferències són encara més pronunciades en les dones d'edat avançada. Tsuzuki i Iwata (2002) van descobrir que la pèrdua d'aigua per evaporació no augmenta significativament amb la taxa metabòlica en persones de la tercera edat que fan exercici lleuger. Segons Hwang i Chen (2010), fisiològicament la gent gran prefereix uns 2 °C més que les persones més joves. Diversos estudis (Hoof i Hensen 2010; Hwang i Chen 2010; Guedes et al. 2009; Raymann i Van Someren 2008; Schellen et al. 2010) també corroboren que psicològicament també prefereixen ambients més càlids i que la zona de confort de 20-24 °C no és prou càlida per a aquest grup de població: la temperatura òptima seria al voltant de 25,3 °C per a persones grans sedentàries. D'altra banda, les mesures de temperatura de funcionament (la que les persones experimenten tèrmicament en un espai) en residències portugueses d'avis (Guedes et al. 2009) va oscil·lar entre 16 °C i 25 °C a l'hivern i 22 °C i 31 °C a l'estiu.

D'altra banda, diversos estudis en habitatges de gent gran (Raymann i Van Someren 2008; Bokenes et al. 2011) han associat la manca de confort tèrmic a una major mortalitat cardíaca a causa de les baixes temperatures en habitatges aïllats. A més, el projecte europeu PHEWE (Analitis et al. 2008) va informar d'un augment significatiu de l'1,72 % a curt termini de la mortalitat cardiovascular en associació amb una caiguda d'1 °C de la temperatura mitjana de 15 dies (Lanzinger et al. 2014). Aquest estudi també va concloure que hi ha un risc elevat a curt termini d'infarts de miocardi amb una disminució de 10 °C a la temperatura de l'aire (Wolf et al. 2009). Els grups susceptibles han d'estar a una temperatura mínima de 20 °C per evitar problemes cardiovasculars (Ormandy i Ezratty 2012). En aquest sentit, l'ambient tèrmic en les residències generalment no produeix malalties greus; tot i això, aquest factor pot tenir un impacte significatiu en el benestar general i el confort diari dels seus residents. Addicionalment, un entorn tèrmic deficient també agreuja la influència dels contaminants atmosfèrics en la salut dels ocupants (Mendes i Teixeira 2014).

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div> <td rowspan="3">Carles Capdevila</td> <td>Data: 10-06-2019</td>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 25 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

2.4. EL CONFORT TÈRMIC I EL CONSUM ENERGÈTIC

Les investigacions en confort tèrmic adaptatiu tenen importants implicacions en el consum energètic. L'acceptació de temperatures interiors més elevades en condicions d'estiu portaria a un menor ús dels sistemes de refrigeració. En situacions/llocs on la refrigeració és inevitable, una gamma més àmplia d'ambients tèrmics interiors (en funció de l'activitat i l'ocupació) significaria menys necessitat de refrigeració i, per tant, menys consum d'electricitat per als sistemes de refrigeració (Arens et al. 2010). Les investigacions sobre les implicacions del consum energètic es poden agrupar en dues àrees: casos d'estudi d'edificis refrigerats, calefactats o mixtes, i implicacions en els estàndards de confort tèrmic.

2.4.1. Casos d'estudi

La majoria de les investigacions basades en casos d'estudi suggereixen establir una temperatura més alta de la que les normatives existents determinen o implementar un rang més ampli/variable de temperatura de disseny interior per a diferents moments del dia i diferents condicions exteriors (Karunakaran et al. 2010; Tzivanidis et al. 2011; Peeters et al. 2009) o adaptar la temperatura de consigna en funció dels models de confort adaptatiu (Singh et al. 2011; Chow i Lam 1992). La Taula 1 (a continuació) mostra un resum d'alguns dels casos d'estudi que vinculen models de confort adaptatiu i consum energètic (Chow i Lam 1992; Zmeureanu i Doramajian 1992; Sekhar 1995; Nicol i Roaf 1996; Mui i Chan 2003; Al-Sanea i Zedan 2008; Rossac et al. 2011; Sadineni i Boehm 2012).

S'hi pot observar que es podrien aconseguir estalvis significatius d'energia tant per a oficines com per a edificis residencials, des d'una reducció del 6 % en el consum de ventilació i climatització en edificis d'oficines a Austràlia (Rossac et al. 2011), a una reducció del 33,6 % en el cost total d'energia a Riad (Al-Sanea i Zedan M.F. 2008). Això podria tenir importants implicacions en la política energètica, ja que ajuda a retardar la necessitat de noves plantes d'energia per tal de satisfer l'augment esperat en la demanda d'energia a causa del creixement econòmic i de la població.



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

Ciutat (clima) (any)	Edifici	Mesura	Estalvi energètic
RAE de Hong Kong (subtropical) (1992)	Oficines	Augment del SST de 21,5 °C a 25,5 °C (SST = summer set point temperature = temperatura del punt d'estiu)	Energia de refrigeració reduïda un 29 %
Montreal (continental humit) (1992)	Oficines	Augment del SST de 24,6 °C a 25,2 °C (de 9:00 a 15:00) i fins a 27 °C (de 15:00 a 18:00)	El consum d'aigua refrigerada es va reduir en un 34 - 40% i el pressupost d'energia per a climatització un 11%
Singapur (tropical) (1995)	Oficines	Augment del SST de 23 °C a 26 °C	Energia de refrigeració reduïda un 13 %
Islamabad (subtropical humit) i Karachi (àrid) (1996)	Oficines	Canvi del SST de 26 °C a una temperatura de disseny interior variable ($T_c = 17 + 0,38 T_o$; T_c = temperatura de confort, T_o = temperatura exterior mitjana mensual)	Estalvi energètic potencial del 20-25 %
RAE de Hong Kong (subtropical) (2003)	Oficines	Canvi del SST de 24 °C a la temperatura de confort adaptativa ($T_c = 18,303 + 0,158 T_o$)	El consum d'energia dels serpentins de refrigeració es va reduir en un 7 %
Riyadh (àrid) (2008)	Sense edifici específic	Canvi de la configuració de termòstat fixa anual (21 - 24,1 °C) a la configuració fixa mensual optimitzada (20,1 - 26,2 °C).	El cost de l'energia es va reduir en un 26,8 - 33,6 %
Melbourne (oceànic), Sydney (temperat) i Brisbane (subtropical humit) (2011)	Oficines	Estàtica (augment del SST d'1 °C) i dinàmica (ajust del SST en resposta directa a les variacions de les condicions ambientals).	El consum elèctric de climatització es va reduir en un 6 % (estàtic) i en un 6,3 % (dinàmic)
Las Vegas (àrid) (2012)	Residencial	Augment del SST de 23,9 °C a 26,1 °C (de 16:00 a 19:00)	La demanda energètica màxima (pic d'energia) es va reduir un 69%

Taula 1: Resum de l'estalvi energètic en edificis refrigerats (en ordre cronològic).¹

¹ Taula traduïda extreta de L. Yang, H. Yan, J.C. Lam. Thermal comfort and building energy consumption implications – A review Appl Energy, 115 (2014). pp. 164-173

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div> <div>ESEIAAT</div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 27 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

2.4.2. Implicacions en les normatives del confort tèrmic

Alguns casos d'estudi han demostrat que el model PMV funciona bastant bé en locals amb aire condicionat, però no en edificis amb ventilació natural. El PMV tendeix a predir en excés la calor subjectiva a l'entorn construït, especialment en climes més càlids. Humphreys (1996) va argumentar que el nivell de confort tèrmic com el ISO 7730 basat en el model PMV no era del tot adequat per a aplicacions generals. L'ús de ISO-PMV podria provocar un refredament innecessari en climes més càlids i un escalfament innecessari a les regions més fredes, i si s'aplica en països en desenvolupament tindria una penalització econòmica i ambiental adversa.

L'estàndard 55 de ASHRAE (2010) es va revisar per a incloure un model adaptatiu per a edificis amb ventilació natural. Des dels principis del 2000, diversos investigadors han analitzat les implicacions d'aplicar models de confort adaptatiu. La Taula 2 resumeix alguns dels estudis recents (de Dear y Brager 2002; Fanger i Toftum 2002; de Dear 2004; Roaf et al. 2010; Van der Linder et al. 2006; Ogbonna i Harris 2008; Nicol i Humphreys 2009; Nicol i Humphreys 2010; Yao i Liu 2010; Indraganti 2010; Panao et al. 2011; Yun et al. 2012; Liang et al. 2012). En general, aquests estudis suggereixen que el model adaptatiu específic per a cada cas i clima tenien una tendència a ser més ampli que el rang de temperatura de confort estipulat en l'estàndard ASHRAE (per exemple, a Chongqing, Xina) (R. Yao, J. Liu i B. Li 2010).

País / regió (any)	Edifici	Observacions / Conclusions principals
Global (2002)	General	5 qüestions clau: (i) Satisfacció i diferències inter-individuals, (ii) context climàtic, (iii) rol dels països (especialment a nivell personal / individual), (iv) més enllà de la neutralitat tèrmica i (v) més enllà del confort tèrmic.
Països Baixos (2006)	Oficines	Es permet que l'acceptabilitat del 90% superi el 10% del temps d'ocupació (és a dir, almenys el 90% satisfet durant almenys el 90% del temps) i els límits de temperatura interior es donin en funció de la temperatura exterior mitjana.
Nigèria (2008)	Aules, estudis i residencial	L'enquesta de confort tèrmic es va basar en el paradigma de la comoditat tèrmica adaptativa, en el qual els factors fisiològics i adaptatius són igualment importants en la percepció i la interpretació del confort tèrmic. El rang de confort va ser de 2-3 °C per sota del que suggereix l'estàndard ASHRAE, probablement a causa d'una major humitat relativa.
Global (2009)	General	Es necessiten nous estàndards que posin els edificis sostenibles a un nivell superior, i l'enfocament adaptatiu de la comoditat tèrmica afavoreix la definició de condicions compatibles amb l'objectiu de baix consum de carboni. Aquests estàndards seran basats en els edificis i no en l'ambient, donant lloc a una major llibertat de disseny per aconseguir la sostenibilitat.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 28 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

País / regió (any)	Edifici	Observacions / Conclusions principals
Europe (2010)	Oficines	Es van discutir les diferències entre la norma europea EN 15251 i ASHRAE 55. Es pot aplicar a l'equació per a edificis amb ventilació natural els suggeriments que es proposen a la norma EN 15251 per a la velocitat de l'aire mitjançant ventiladors.
Global (2010)	General	S'utilitzaran nous estàndards de confort tèrmic que permetin als ocupants triar i controlar la seva temperatura preferida. En el futur, els edificis es classificaran cada vegada més segons el seu ús d'energia i la seva petjada de carboni.
Xina (2010)	Aula universitària	El rang de confort adaptatiu de Chongqing és més ampli que el de la norma ASHRAE 55-2004.
Índia (2010)	Residencial	Rang de temperatura basat en el model adaptatiu 26-32,5 °C, molt més alt que el de la Norma índia (Indian Standard) 23-26 °C. Això té implicacions de gran abast sobre l'ús de l'energia per als dissenys de construcció i climatització, i s'hauria de seguir desenvolupant per incloure-ho a la Norma índia.
Portugal (2011)	Residencial i "petits serveis"	Basat en un protocol de confort adaptatiu, el factor d'ús de guany es va utilitzar per avaluar els riscos de sobreescalfament i les necessitats de refrigeració. El criteri del percentatge d'hores per sobre de 28 °C és molt més exigent que el mètode de confort adaptatiu. Els requisits revisats (amb valors de llindar més baixos) millorarien el rendiment tèrmic dels edificis durant l'estiu.
Korea (2012)	Oficines	Els ocupants es sentirien còmodes fins i tot a 28 °C, depenent de la temperatura mitjana exterior, 2 °C per sobre dels 26 °C establerts a la Norma de Corea (Korean Standard).
Taiwan (2012)	Escola	La regulació energètica d'edificis va tenir un impacte significatiu en el nivell de confort tèrmic en edificis amb ventilació natural. El model de confort adaptatiu es va desenvolupar i es va suggerir que s'integrés amb altres variables de disseny d'edificis en la regulació de l'energia.

Taula 2: Resum de treballs sobre implicacions de models adaptatius sobre estàndards de confort tèrmic (en ordre cronològic).²

Per tal de millorar l'eficiència energètica dels edificis, s'haurien de revisar i ajustar les normatives per reflectir millor les situacions locals. També s'ha de considerar altres factors com el control / les diferències de confort individuals, el context climàtic i la petjada de carboni, en comptes de contemplar simplement el confort tèrmic convencional i la neutralitat tèrmica.

² Font: Yang, Yan, Lam (2014)

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 29 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

D'altra banda, no hi ha investigacions que analitzin les implicacions del confort tèrmic sobre el consum energètic en edificis destinats a la gent gran. És per això que és molt interessant analitzar aquest tipus d'edificis amb característiques molt específiques.

2.4.3. Models de confort tèrmic

Existeixen nombrosos models que tenen l'objectiu d'estimar la temperatura de confort dels individus en funció d'altres variables, com poden ser temperatures a l'interior o a l'exterior, humitats relatives a l'interior o a l'exterior, paràmetres calculats a partir d'altres variables...

A continuació es presenten els diversos models que s'ha usat en el desenvolupament del present estudi:

Hwang i Chen (2010) proposen un model de temperatura de confort constant per cada època climàtica, on en el model no hi intervenen altres variables.

Segons Hwang i Chen (2010), la temperatura operativa de neutralitat per la gent gran és de 23,2 °C a l'hivern (època de calefacció) i 25,2 °C a l'estiu (època de refrigeració). Aquests valors són molt similars als que proposa el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques dels Edificis (RITE, 2007).

Auliciems (1981) proposa un model adaptatiu per edificis climatitzats. Com que aquest model és genèric i basat en un estudi realitzat a gent adulta, i tenint en compte que segons estudis previs la gent gran té una sensació de confort amb temperatures superiors a la sensació de confort dels adults, es sumarà 1 °C a la temperatura de neutralitat que proposa Auliciems (1981). Com que aquest model es basa només en la temperatura exterior mitjana mensual, la temperatura de confort proposada és la mateixa durant tot un mes.

$$T_n = 1 + 17,7 + 0,27 T_0$$

Equació 1: Model de confort d'Auliciems

(T_n = temperatura operativa de neutralitat, °C; T_0 = mitjana mensual de temperatures exteriors, °C)

Peeters et al (2009) també proposa un model adaptatiu per determinar el confort tèrmic en edificis refrigerats o calefactats. Aquest model conté elements dels dos anteriors, i estableix una expressió o una altra per a calcular la temperatura de confort en funció d'una altra variable (que en aquest cas és la $T_{e,ref}$, explicada a continuació).

Com que aquest model tampoc és específic per a gent gran, també es suma 1 °C a la temperatura que se n'obtingui.

 <div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 30 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

Per a poder aplicar-lo, primer cal conèixer la $T_{e,ref}$ de cada dia, que és la temperatura exterior de referència. Per a calcular-la s'utilitza el mètode dels Límits de la Temperatura Adaptativa, o ATL per les seves sigles en anglès. Aquest mètode té en compte les temperatures exteriors de fins a 3 dies abans de l'actual, ja que defensa que els individus s'adapten a l'ambient exterior al llarg d'aquests dies, tant fisiològicament com psicològicament. La $T_{e,ref}$ es calcula com:

$$T_{e,ref} = \frac{(T_{avui} + 0,8 \cdot T_{avui-1} + 0,4 \cdot T_{avui-2} + 0,2 \cdot T_{avui-3})}{2,4}$$

Equació 2: Càlcul de la $T_{e,ref}$

($T_{e,ref}$ = temperatura exterior de referència, °C; T_{avui} = mitjana de les temperatures exteriors màxima i mínima del dia actual, °C; $T_{avui-x} = T_{avui}$ de fa x dies, °C)

Coneixent ja la $T_{e,ref}$, es pot procedir a calcular la temperatura neutra o de preferència, segons:

$$T_n = 1 + 20,4 + 0,06 T_{e,ref} \text{ per a } T_{e,ref} < 12,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_n = 1 + 16,63 + 0,36 T_{e,ref} \text{ per a } T_{e,ref} \geq 12,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Equació 3: Model de confort de Peeters

(T_n = temperatura neutra o de preferència, °C; $T_{e,ref}$ = temperatura exterior de referència, °C)

Com a resultat d'un Treball de Fi de Màster de la UPC, i a partir de dades experimentals en centres residencials ubicats en climes mediterranis continentals, s'ha elaborat un model experimental.

El model obtingut és del tipus adaptatiu, només es pot aplicar a l'hivern (és a dir, en època de calefacció) i té una $R^2 = 0,8429$. Segons aquest model, la temperatura de confort es calcula com:

$$T_c = 15,868 + 0,5167 T_{rm}$$

Equació 4: Model de confort experimental de la UPC

(T_c = temperatura de confort, °C; T_{rm} = "running mean temperature", °C)

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 31 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

La T_{rm} s'obté com:

$$T_{rm} = 0,8 T_{ahir} + 0,2 T_{abans-d'ahir}$$

Equació 5: Càlcul de la T_{rm}

(T_{rm} = running mean temperature, °C; T_{ahir} = mitjana de les temperatures exteriors del dia anterior, °C; $T_{abans-d'ahir}$ = mitjana de les temperatures exteriors de fa dos dies, °C)

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div> <td rowspan="3">Carles Capdevila</td> <td>Data: 10-06-2019</td>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 32 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

3. METODOLOGIA

Aquest apartat presenta el procés de treball que es segueix durant la realització de l'estudi.

3.1. CARACTERITZACIÓ DE L'EDIFICI SAGRADA FAMÍLIA DE SANITAS MAYORES

L'estudi es centra en la residència per a gent gran Sagrada Família – Sanitas Mayores, situat a Barcelona. Per a dur a terme l'estudi, el primer pas és detallar certs elements característics de l'edifici que influeixen directament en els factors a estudiar. Per tant, són necessàries:

- Una descripció general de l'edifici.
- Una descripció de la rutina dels residents.
- Una descripció detallada de les sales comunes de la residència, ja que l'estudi es centra en aquestes estances.

Com que l'objectiu final de l'estudi és analitzar el consum energètic de la residència en funció del confort tèrmic, també és molt important una descripció de les instal·lacions de climatització de l'edifici.

3.2. DESCRIPCIÓ DE LA MOSTRA

Cal organitzar i depurar adequadament les dades per a poder ser tractades i per a permetre que es realitzin els càlculs necessaris a partir dels valors de les lectures. Per a dur a terme aquesta organització i depuració, l'eina a utilitzar és el programa d'ofimàtica "Microsoft Excel".

Les dades de partida són nombroses, i de moltes tipologies diferents: dies i hores, consums energètics instantanis en diferents unitats, temperatures i humitats relatives de diverses sales, etc. Cal depurar i tractar aquestes dades per a poder utilitzar-les i analitzar-les correctament a posteriori.

De totes les dades relatives a la residència, les necessàries són les relacionades amb el dia i l'hora de cada mesura, els consums (tant elèctric com de gas) i les condicions ambientals, és a dir, les temperatures i humitats relatives. Cal destacar que, mentre que els consums són els generals de tot l'edifici, les dades ambientals són les pròpies d'una sala o zona en concret.

S'ha relacionat cada variable amb el nom que té assignat al full de dades, i s'ha organitzat les dades per a facilitar-ne la depuració. En comparar el nombre de dades reals amb el nombre esperat (tenint en compte la distribució de les lectures), s'ha observat que hi havia períodes sense cap dada. S'ha observat la duració i els límits d'aquests períodes.

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 33 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

A part de les dades corresponents a l'edifici, també són necessàries les corresponents a les condicions externes: la temperatura i humitat ambientals. Cal obtenir aquestes mesures de l'estació meteorològica més propera a la residència Sagrada Família.

S'han descrit les dades corresponents a l'exterior, tal i com ja s'havia fet abans amb les del centre residencial.

3.3. PREPARACIÓ DE LES DADES

Una vegada totes les dades de la residència han estat correctament organitzades en una fulla de càlcul per a cada variable, ha calgut preparar-les i tractar-les per a poder modelitzar el consum de gas i electricitat en funció de les condicions internes i externes. Aquest procés consta de tres blocs:

- Depuració de la base de dades de lectures de la residència, eliminant o corregint els valors incorrectes.
- Classificació de les lectures segons diversos criteris i càlcul dels consums rectificats.
- Unificació de les mesures internes i externes i càlcul dels paràmetres tèrmics exteriors.

3.3.1. Depuració de la base de dades

En les dades interiors s'ha observat que hi havia nombroses lectures errònies o nul·les, així com alguna lectura faltant. Per a eliminar totes aquestes lectures incorrectes i poder usar el conjunt de dades en l'estudi, s'ha procedit a depurar les dades en diferents passos:

- Quan dues mesures s'ha pres amb menys d'un minut de diferència, la segona sempre té un valor nul o incongruent, de manera que s'ha eliminat les mesures amb aquestes característiques
- Algunes mesures s'ha pres en els intervals normals de 15 minuts, però en canvi la lectura obtinguda era nul·la. S'ha interpolat linealment els valors d'aquestes mesures utilitzant les lectures immediatament anterior i posterior.
- s'ha coordinat els temps de totes les lectures de les diferents variables, ja que hi havia variables amb més dades que altres. Per a fer-ho, s'ha eliminat les lectures que impedièen quadrar totes les dades.
- s'ha eliminat totes les mesures preses en intervals diferents al de 15 minuts, que és l'interval en el que s'hauria d'haver pres cada dada.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 34 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

- S'ha ajuntat totes les dades de totes la variables en una sola fulla de càlcul, i s'ha interpolat linealment els valors de les lectures que corresponien a un quart d'hora però en les que no s'havia captat cap informació.

- Totes les mesures ja coordinades s'ha aproximat al quart d'hora més proper, per a facilitar tant la lectura de les mesures com els passos següents d'aquest estudi.

3.3.2. Classificació de les lectures i càlcul dels consums rectificats

S'han establert les lectures segons diferents criteris, per tal de poder-les tractar i analitzar. Les classificacions han sigut les següents:

-Dia / Nit: en funció de l'hora del dia, s'ha classificat com a "Dia" les mesures en el període d'hores en què la climatització de les sales comunes està encesa, i com a "Nit" les lectures fora d'aquesta franja.

- Per èpoques: observant els gràfics dels consums elèctric i de gas, s'ha observat que en els mesos d'hivern predominava el consum de gas , i en els d'estiu el d'electricitat. En funció del dia en què s'havia pres cada dada, aquestes s'ha classificat en època de refrigeració (alt consum elèctric), època de calefacció (alt consum de gas) o època neutra (cap dels dos consums era elevat en comparació amb la resta de l'any).

-Amb l'objectiu de determinar el consum de climatització respecte del consum total, s'ha calculat el consum base de gas per hores de les èpoques de refrigeració i neutra i el consum base d'electricitat per hores de les èpoques de calefacció i neutra.

-Assumint que, dins del consum de climatització només una part es destina a climatitzar les sales objecte d'estudi, s'ha calculat la proporció d'àrea d'aquestes (tant de la sala objecte d'estudi de la PB com de les sales objecte d'estudi de les P1 i P2) respecte de l'àrea total climatitzada de l'edifici.

- S'ha procedit a calcular els consums rectificats, és a dir, els consums d'electricitat o de gas atribuïbles a climatització i, específicament, a les sales objecte d'estudi. Per a fer-ho, en el cas del consum elèctric per a l'època de refrigeració i en el cas del consum de gas per a l'època de calefacció, s'ha restat a cada consum instantani el consum base corresponent a aquella hora, i el resultat s'ha multiplicat pel factor de superfície corresponent a aquella sala objecte d'estudi.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 35 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

3.3.3. Unificació de les mesures internes i externes i càlcul dels paràmetres tèrmics exteriors

Amb l'objectiu de poder ajuntar en una sola fulla de càlcul les dades interiors i les exteriors de la residència, ha calgut eliminar les dades interior que corresponien a i 15 minuts o a i 45 minuts.

Amb totes les dades ja unificades, s'ha procedit a calcular els paràmetres de $T_{mitjana}$ i T_{rm} , relacionats directament amb la temperatura exterior i amb probable influència sobre la sensació tèrmica de les persones.

Per finalitzar, amb totes les dades ben ordenades i els paràmetres adients calculats, s'ha extret d'aquesta base de dades totes les mesures que corresponien a la "Nit", és a dir, les corresponents a les hores del dia en què el centre residencial no té en funcionament el sistema de climatització.

3.4. ANÀLISI DE LES DADES

Amb totes les dades definitives, s'ha procedit a analitzar-les i a modelitzar els consums tant elèctric com de gas en funció de les condicions ambientals interiors i exteriors.

3.4.1. ANÀLISI DESCRIPTIVA DE LES DADES

Es mostren, per a cada variable, els histogrames i els valors estadístics de la mitjana, la mediana, la desviació, la variància, el rang, el mínim, el màxim, els percentils i el número de dades (o número de casos) després de la depuració.

Primerament, s'ha realitzat l'anàlisi descriptiva dels consums rectificats tant elèctric com de gas corresponents a les dues sales objecte d'estudi: la de la planta baixa i la de les plantes primera i segona.

A continuació, s'ha realitzat aquesta anàlisi per a les dades de condicions ambientals tant interior com exteriors, per separat les corresponents a l'època de refrigeració de les corresponents a l'època de calefacció.

3.4.2. MODELITZACIÓ DELS CONSUMS MITJANÇANT REGRESSIONS LINEALS

Abans de realitzar les regressions lineals per a modelitzar els consums elèctric i de gas associats a la climatització de les sales comunes, s'ha optat per realitzar un anàlisi de correlació entre les variables T_{ext} , $T_{mitjana}$ i T_{rm} , ja que les dues últimes eren el resultat d'una sèrie de càlculs a partir de la T_{ext} .

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 36 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

Seguidament, s'ha procedit a modelitzar els consums de climatització elèctric i de gas en funció de les condicions ambientals. Els paràmetres que s'ha tingut en compte per a realitzar les diverses combinacions de variables per a realitzar aquests models han sigut els següents:

- Temperatura instantània interior de la sala objecte d'estudi [°C]
- Humitat relativa instantània interior de la sala objecte d'estudi [%]
- Temperatura instantània exterior [°C]
- Humitat instantània exterior [%]
- Mitjana de les temperatures exteriors d'aquell dia [°C]
- Trm d'aquell dia [°C]

En quant al mètode seleccionat per a modelitzar aquests consums, s'ha optat per una regressió lineal amb un procediment "pas a pas cap enrere", és a dir, on es començava realitzant un model amb totes les variables i s'anaven eliminant una a una les menys significatives i es re-calculava el model, fins que tots els coeficients restants fossin significatius.

En la creació dels quatre models de consum (un d'electricitat per a refrigeració i un de gas per a calefacció per a cadascuna de les dues zones objecte d'estudi), s'ha tingut en compte que el model presenti un coeficient de determinació (R^2) el més elevat possible i que, a més, si les variables Text, Tmitjana i Trm apareixen en el model, que els seus coeficients tinguin el mateix signe (tots siguin positius o negatius), ja que amb la forta correlació que s'ha mostrat entre aquestes variables, no tindria lògica que tinguessin coeficients amb signes oposats.

Una vegada s'ha disposat dels quatre models de consum ja esmentats, s'ha realitzat per a cadascun d'ells un gràfic probabilístic normal dels residus del model i un gràfic de dispersió dels residus, per tal de comprovar-ne la normalitat i amb l'objectiu de poder conèixer la validesa dels models.

S'ha realitzat un petit anàlisi dels models de consum obtinguts, en el qual s'ha considerat el coeficient de determinació del model, els dos gràfics ja realitzats sobre aquest (tant el probabilístic com el de dispersió dels residus) i els signes dels diferents coeficients de les variables del model, entre d'altres.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 37 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

3.4.3. Càlcul de la temperatura de confort segons els diferents models

S'ha calculat, per a cada lectura del conjunt de dades, la temperatura neutra o de confort corresponent a cadascun dels quatre models de confort tèrmic esmentats.

A continuació, s'ha comparat per a les dues sales objecte d'estudi les temperatures monitoritzades amb les temperatures de confort segons els diferents models de confort, realitzant els gràfics corresponents per a facilitar aquesta comparació. Això s'ha realitzat de manera independent per a l'època de refrigeració i per a l'època de calefacció.

3.4.4. Càlcul del consum associat a la climatització de les sales comunes a partir de la temperatura de confort segons els diferents models

Amb la temperatura de confort dels diferents models de confort tèrmic i utilitzant els models de consum obtinguts en aquest treball de refrigeració i de calefacció per a cada una de les dues sales objecte d'estudi, s'ha calculat els consums resultants de mantenir aquestes temperatures a les sales objecte d'estudi de les diverses plantes.

A continuació, s'ha comparat els consums obtinguts amb els consums monitoritzats. Aquesta comparació s'ha realitzat, per una banda, en forma de gràfic, per a visualitzar més fàcilment els resultats, i per l'altra, en forma de taula, per a poder quantificar amb més precisió les diferències entre els diversos consums.

S'han comentat els resultats obtinguts, emfatitzant en les diferències de consum entre els diferents models de confort tèrmic i el consum monitoritzat, ja fos d'electricitat o de gas (en el cas d'època de refrigeració o de calefacció). En els casos en què el model ha semblat ser vàlid i s'estimava un estalvi, s'ha quantificat les diferències de consum no només en quilowatts hora, sinó també econòmicament.



4. CARACTERITZACIÓ DE L'EDIFICI

Tal i com ja s'ha comentat anteriorment, aquest estudi es centra en la residència per a gent gran Sagrada Família – Sanitas Mayores, situat a Barcelona. Per tant, és vital descriure l'edifici en sí, el funcionament del centre, les sales objecte d'estudi, les instal·lacions de climatització de la residència i els equips de monitorització instal·lats.

4.1. DESCRIPCIÓ DE L'EDIFICI

El centre residencial Sagrada Família es troba situat al Carrer de los Castillejos, 256-258, 08013 Barcelona. L'edifici fa xamfrà entre el Carrer de Mallorca i el Carrer de los Castillejos, tal i com es pot observar a la Figura 2. La mateixa imatge permet apreciar l'aspecte exterior de l'edifici, així com visualitzar més clarament la seva ubicació.



Figura 2: Ubicació de l'edifici Sagrada Família de Sanitas Mayores³

Es tracta d'un sol edifici de 6 plantes incloent la planta baixa, i també disposa de dos soterranis. Compta amb un pati interior de 188 m², que es troba al nivell de la primera planta.

El nombre total de llits d'aquesta residència és de 148.

³ Imatge extreta de Google Maps

<div></div> <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div> <div>ESEIAAT</div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 39 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

La planta del segon soterrani (P-2) consta d'un aparcament de 25 places, alguns magatzems (M) (a la zona sud-oest), una sala amb 2 dipòsits d'aigua (A) i els serveis de personal.



Figura 3: Esquema de distribució de la planta -2

A la planta del primer soterrani (P-1) s'hi troben bona part dels serveis: sala de metges (M), infermeria (I), perruqueria (P), etc. També hi ha el gimnàs (G) i la sala de teràpia ocupacional (T), on es realitzen diverses activitats grupals dirigides. Des del punt de vista del personal de la residència, hi trobem la bugaderia (B), la cuina (C) i els vestuaris.



Figura 4: Esquema de distribució de la planta -1



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

A la planta baixa s'hi troben les principals zones comunes: dues sales d'estar o sales comunes (una de les quals s'usa com a biblioteca (B), i l'altra com a sala de televisió (T)), un menjador (M), els diferents despatxos de treballadors (D) i la recepció (R) i vestíbul d'entrada (V).



Figura 5: Esquema de distribució de la planta baixa

A les plantes 1 i 2 hi ha habitacions, sala d'estar o sala comuna (E) i menjador (M). Els residents fan vida a la planta, ja que tenen un estat cognitiu baix o no presenten mobilitat (alguns no es poden moure del llit). En ambdues plantes hi ha 14 habitacions individuals i 6 de dobles, disposant cadascuna de les plantes de 26 llits. La planta 1 presenta una diferència respecte de la 2: és on està ubicat el pati interior (P) de 188 m².



Figura 6: Esquemes de distribució de les plantes 1 i 2, respectivament

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div> <div>ESEIAAT</div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 41 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

A les plantes 3, 4 i 5 només hi ha habitacions. Els residents baixen a la planta baixa per menjar i per a realitzar activitats lúdiques, ja que tenen un major grau d'autonomia. Per això, no hi ha menjador ni sales d'estar en aquestes plantes. En cadascuna d'aquestes plantes hi ha 16 habitacions individuals i 8 de dobles, amb un total de 32 llits per planta.



Figura 7: Esquema de distribució de les plantes 3, 4 i 5

A la coberta de l'edifici s'hi troba el sistema de climatització de la residència, explicat a l'apartat 4.4.

A la Taula 3 s'hi pot observar la superfície per planta de l'edifici.

	P -2	P -1	P BAIXA	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	TOTAL
Superfície total [m²]	977,50	945,44	922,70	991,70	765,93	763,87	763,87	763,87	6894,88

Taula 3: Resum de la superfície per planta de la residència

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 42 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

4.2. RUTINA DELS RESIDENTS

A nivell orientatiu, els horaris per espai o per activitat són:

- De dilluns a divendres sempre hi ha activitats al gimnàs de 10:00 a 13:00.
- Els dimarts i dijous els residents surten a passejar de 11:30 a 13:00.
- De 14:00 a 15:30 tots els residents fan migdiada o bé reposen al llit o en les sales d'estar.
- Durant el matí hi ha activitats continuades. A la tarda, no s'acostumen a dur a terme activitats dirigides. De 17:00 a 19:00 es reuneixen grups de domino a la sala "biblioteca" de la PB. A la sala de la televisió, la majoria dels residents solen estar adormits i molts presenten un estat cognitiu baix. A nivell general, hi acostumen a haver unes 15 o 20 persones per sala.
- El berenar sol ser a les 16:30 a les sales de la planta baixa per als residents amb mobilitat o bon estat cognitiu, però no és obligatori. A partir d'aquesta hora també hi acostumen a haver familiars de visita.

4.3. SALES COMUNES OBJECTE D'ESTUDI DE LA RESIDÈNCIA

La importància d'estudiar aquestes sales recau en què són on els residents passen la major part del temps i, a més, és on estan ubicats els sensors de temperatura i humitat interiors, que proporcionen dades vitals per a realitzar aquest estudi.

Les sales que han sigut objecte d'estudi són les sales "biblioteca" i de televisió de la planta baixa (que, conjuntament, formen la zona que s'ha anomenat "Saló P0" o sala objecte d'estudi de la planta 0), i les sales d'estar de les plantes 1 i 2.

La sala biblioteca es troba just a l'esquerra de l'entrada principal de la residència. En els seus 124,18 m² hi ha nombroses taules i cadires, on els residents poden llegir, jugar a jocs de taula, estar amb les visites... També hi ha alguns prestatges amb llibres

La sala de televisió es troba just a la dreta de l'entrada principal de l'edifici. Té 112,84 m² amb moltes butaques i algun sofà, perquè els residents puguin seure còmodament mentre parlen entre ells o miren la televisió d'aquesta sala.

Ambdues sales són molt espaioses i tenen grans finestres, que deixen entrar la llum natural. Totes dues estan situades a la façana sud, com es pot veure a la Figura 5 de la pàgina 40, facilitant encara més aquesta entrada de llum.

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <hr/> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 43 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

A la Figura 8 s'hi pot veure la ubicació de les sales "biblioteca" i de televisió. Aquestes dues sales, així com el passadís que les uneix, el vestíbul i la recepció, és el que s'ha establert com a sala objecte d'estudi de la planta baixa.

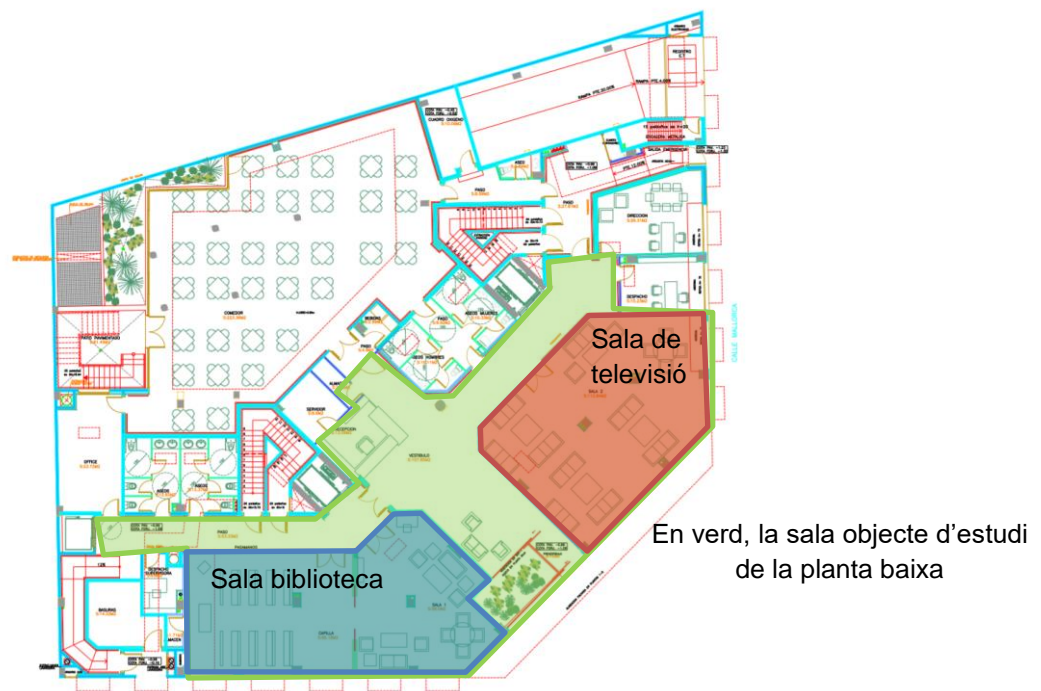


Figura 8: Ubicació de les sales comunes a la planta baixa

A la Figura 9 es pot observar la distribució i el mobiliari de la sala de televisió.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 44 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		



Figura 9: Fotografia de la sala de televisió de la planta baixa

Les sales d'estar de les plantes 1 i 2 són pràcticament idèntiques. Tenen 70,22 m² cadascuna i hi ha cadires, butaques i televisions, perquè els residents hi puguin passar el temps amb comoditat.

També compten amb grans finestres, però la superfície de finestra és menor que en les sales de la planta baixa. De la mateixa manera que en aquestes, les sales objecte d'estudi de les plantes primera i segona també estan situades a la façana sud, tal i com es pot veure a la Figura 6 de la pàgina 40 (el seu símbol és una "E", de "sales d'estar").

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 45 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

4.4. INSTAL·LACIONS DE CLIMATITZACIÓ DE L'EDIFICI

El sistema de climatització de la residència és un sistema tot aigua a dos tubs amb dues calderes i dues refredadores, i fan coils (també coneguts com a ventiloconvectors) per a cada sala i habitació. Per tant, és un únic sistema l'encarregat tant de refrigerar com de calefactar les diferents sales de l'edifici. La caldera de condensació d'alt rendiment és la que està funcionant constantment. Per als pics de consum, s'empra una caldera de suport amb menor rendiment, però gran capacitat (és més vella).



Figura 10: Imatge de la caldera més antiga, de gran capacitat

Tots els fan coils pegen del mateix circuit i presenten tres velocitats. La temperatura de consigna és de 22°C per tot l'edifici. El control, el qual es troba centralitzat des de l'ordinador de recepció, s'estableix per horari de planta i amb els modes d'encesa / apagat. Puntualment es pot modificar per habitació. Es distingeixen diversos horaris de funcionament dels fan coils:

- Planta baixa i zones comunes: de 7:30 a 22:00.
- Habitacions sense persones al llit durant tot el dia: de 7:00 a 10:00; de 13:00 a 14:30; i de 19:00 a 22:00.

 <div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 46 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

Pel que fa a ventilació, hi ha 7 recuperadors de calor que sembla que puguin estar vinculats a cada planta i algun addicional per a la cuina i menjadors. No obstant això, el tècnic de manteniment no sap com funcionen ni a quines àrees alimenta cada recuperador. Tampoc hi ha constància de com s'activen aquestes unitats ni l'horari de funcionament. Se suposa que la ventilació procedent dels recuperadors està connectada als fan coils. A nivell de ventilació natural, s'obren finestres al matí.

El centre residencial disposa d'un gran nombre de plaques solars per a ACS-calefacció, però no estan en funcionament. Aquestes plaques s'estan inspeccionant per utilitzar-les de nou. Es preveu la substitució d'acumuladors d'ACS per deteriorament i, en el futur, també es vol dur a terme la instal·lació de plaques fotovoltaïques per generar electricitat.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 47 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

5. DESCRIPCIÓ DE LA MOSTRA

Les dades de partida són nombroses, i de moltes tipologies diferents: dies i hores, consums energètics instantanis en diferents unitats, temperatures i humitats relatives de diverses sales, etc. Cal depurar i tractar aquestes per a poder utilitzar-les i analitzar-les correctament a posteriori.

De totes les dades relatives a la residència, les necessàries són les relacionades amb el dia i l'hora de cada mesura, els consums (tant elèctric com de gas) i les condicions ambientals, és a dir, les temperatures i humitats relatives. A la Figura 11 hi ha un exemple de les dades captades pels sensors sense cap tractament, i a la Taula 4 s'hi pot veure el nom de cada variable mesurada, així com el seu significat.

	A	B	C
95	01/01/2018 0:15	Sagrada.grEB_EAct	7,5625
98	01/01/2018 0:15	Sagrada.grGB_GasA1	0,203125
103	01/01/2018 0:15	Sagrada.grTB_Hume1	37,0665283
104	01/01/2018 0:15	Sagrada.grTB_Temp1	24,4242821
105	01/01/2018 0:15	Sagrada.grTB_Temp2	24,2192421
106	01/01/2018 0:15	Sagrada.grTB_Temp3	24,1604519
110	01/01/2018 0:30	Sagrada.grEB_EAct	7,0625
112	01/01/2018 0:30	Sagrada.grGB_GasA1	0,703125
117	01/01/2018 0:30	Sagrada.grTB_Hume1	37,0975647
118	01/01/2018 0:30	Sagrada.grTB_Temp1	24,3711681
119	01/01/2018 0:30	Sagrada.grTB_Temp2	24,2100468
120	01/01/2018 0:30	Sagrada.grTB_Temp3	24,1239929
124	01/01/2018 0:45	Sagrada.grEB_EAct	8,25
126	01/01/2018 0:45	Sagrada.grGB_GasA1	0,296875
131	01/01/2018 0:45	Sagrada.grTB_Hume1	36,5575829
132	01/01/2018 0:45	Sagrada.grTB_Temp1	24,2534943
133	01/01/2018 0:45	Sagrada.grTB_Temp2	24,1464405
134	01/01/2018 0:45	Sagrada.grTB_Temp3	24,0872288

Figura 11: Exemple de lectures de la residència (pre-tractament)

Sagrada.grEB_EAct	Consum elèctric instantani (cada 15 min) [kW]
Sagrada.grGB_GasA1	Consum gas instantani (cada 15 min) [m³ gas natural]
Sagrada.grTB_Hume1	Humitat relativa Saló P0 (comprèn la sala "biblioteca" i la de televisió) [%]
Sagrada.grTB_Temp1	Temperatura Saló P0 [°C]
Sagrada.grTB_Temp2	Temperatura Sala Estar P1 [°C]
Sagrada.grTB_Temp3	Temperatura Sala Estar P2 [°C]

Taula 4: Llegenda de les variables del centre Sagrada Família

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 48 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

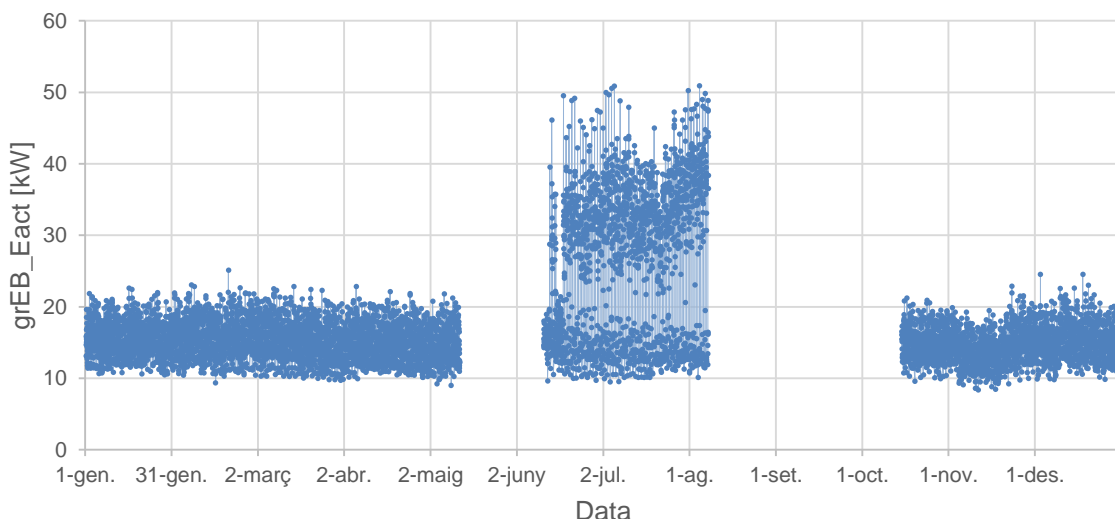
Tal i com es pot veure a la Figura 11, totes les dades objecte d'aquest estudi estan preses, de manera ideal, cada quart d'hora. Es disposa de lectures d'aquestes variables des de l'1 de gener de 2018 a les 00:00, fins a l'1 de gener de 2019 a les 00:00.

Totes les lectures de cada variable s'ha copiat en una fulla d'Excel diferent, per a permetre la posterior depuració i tractament d'aquestes. S'ha hagut de destinar una fulla a cada variable ja que cada una tenia un nombre de lectures i uns valors incorrectes o nuls diferents, tot i que en la majoria de les preses de dades, totes les variables sí que compartien els mateixos errors.

Tenint en compte aquest període amb lectures, la freqüència d'aquestes i el nombre de variables, s'hauria de disposar d'unes 210.240 dades, però només se'n té 157.878. Això és degut, majoritàriament, a tres períodes de durada notable en els qual no es va realitzar cap lectura. Aquests tres períodes són:

- Del 12 de maig a les 22:00 a l'11 de juny a les 12:15
- De l'11 de juny a les 18:45 al 12 de juny a les 11:00
- Del 8 d'agost a les 13:30 al 15 d'octubre a les 16:00

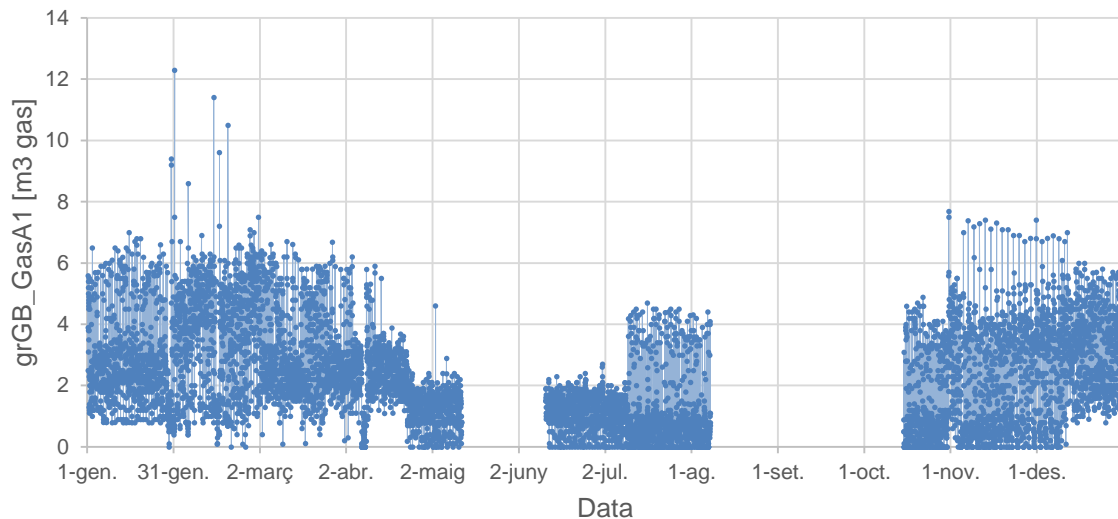
En els gràfics dels consums i de les variables interiors que es troben a continuació es veuen clarament dos d'aquests períodes sense lectures, a més del comportament de les variables.



Gràfic 1: Consum elèctric al llarg de l'any



**TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA
RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES**



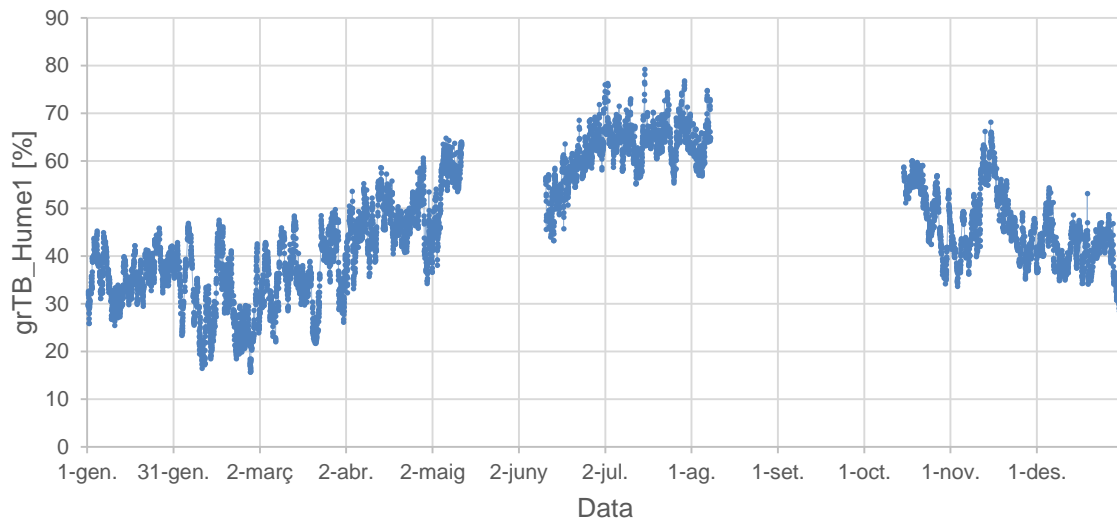
Gràfic 2: Consum de gas al llarg de l'any

Tal i com es pot veure en el Gràfic 1, el consum d'electricitat és bastant uniforme excepte en els mesos d'estiu, on sembla que hi hagi dos estats o tendències: un de valors bastant semblants a la resta de mesos i un de valors especialment elevats.

En el Gràfic 2 s'observa que el consum de gas, especialment en els mesos de més fred, presenta uns valors amb una alta variància, a part de més elevats. En destaquen alguns pics molt puntals en les lectures al mes de febrer.

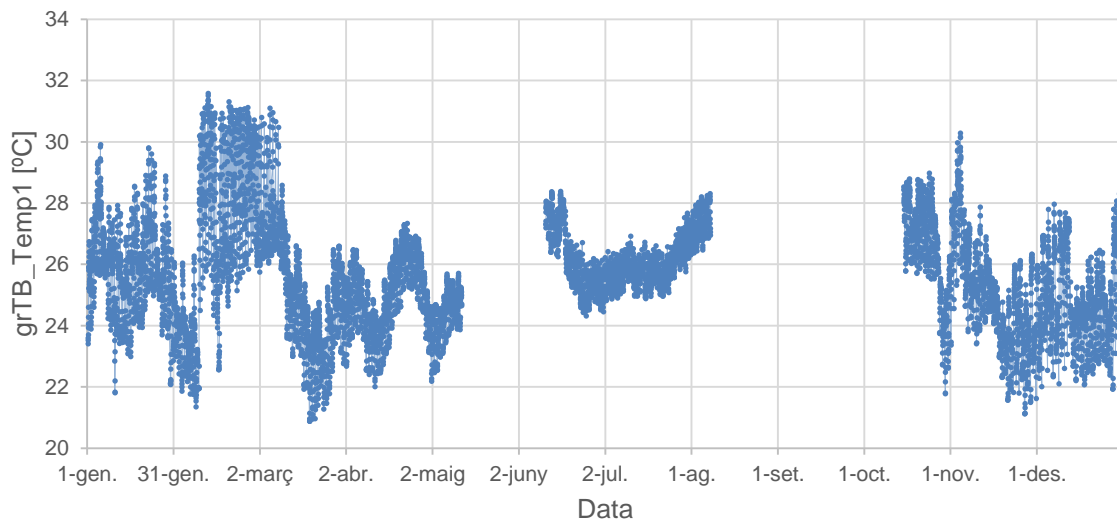


**TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA
RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES**



Gràfic 3: Humitat relativa de la zona objecte d'estudi de la planta baixa al llarg de l'any

S'observa que la humitat relativa acostuma a tenir uns valors més alts als mesos d'estiu, i uns de més baixes als mesos d'hivern.

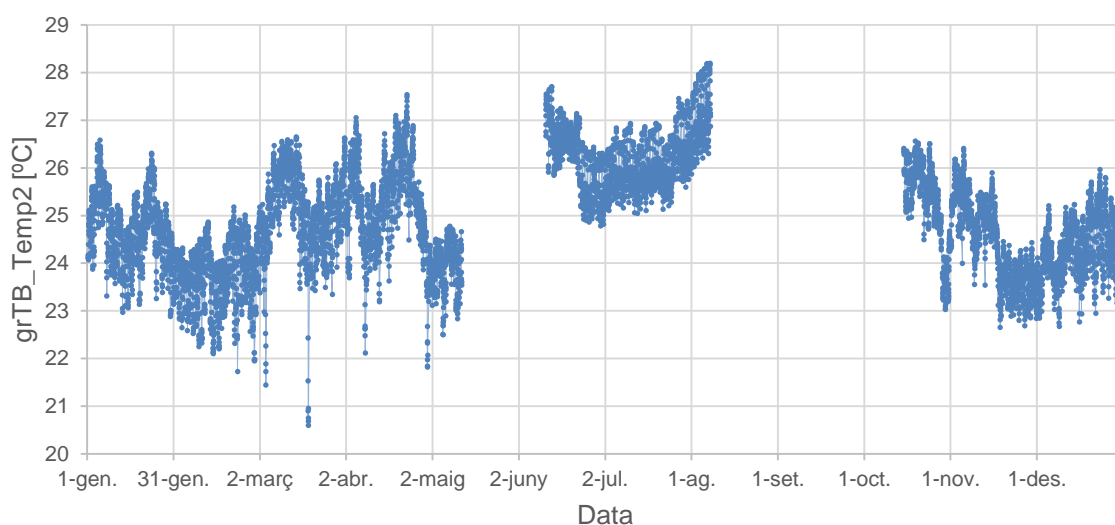


Gràfic 4: Temperatura de la zona objecte d'estudi de la planta baixa al llarg de l'any

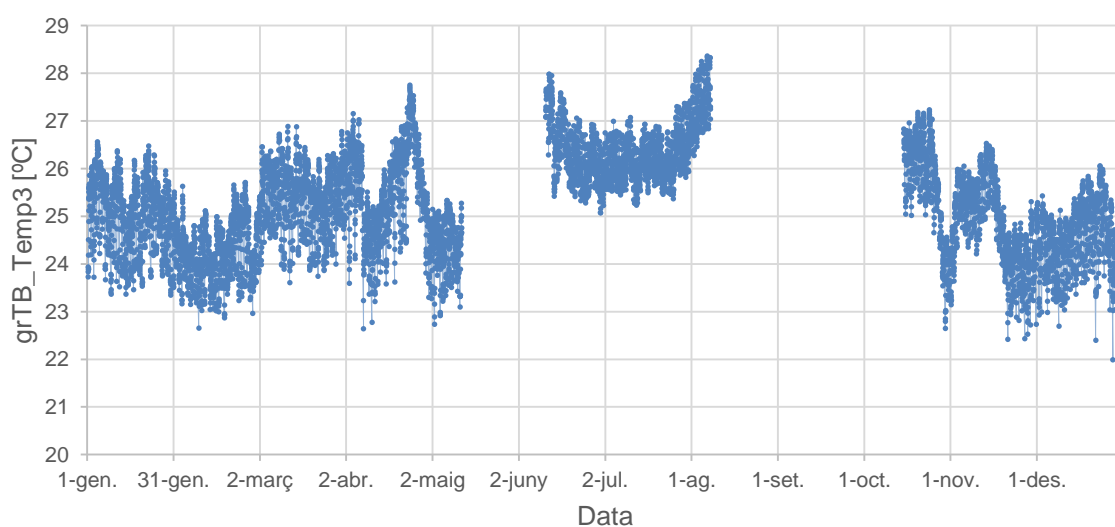


TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

En el Gràfic 4, la temperatura a la zona objecte d'estudi a la planta baixa presenta uns valors força elevats, aproximadament d'entre 21 °C i fins a casi 32 °C. Destaca que molts d'aquests valors tan elevats, a més, corresponen als mesos de febrer i març o a principis de novembre. Podria ser que, per causes que es desconeixen, realment s'arribés a aquestes temperatures tan elevades, o podria ser que els sensors no funcionessin correctament.



Gràfic 5: Temperatura de la zona objecte d'estudi de la primera planta al llarg de l'any



Gràfic 6: Temperatura de la zona objecte d'estudi de la segona planta al llarg de l'any

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 52 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

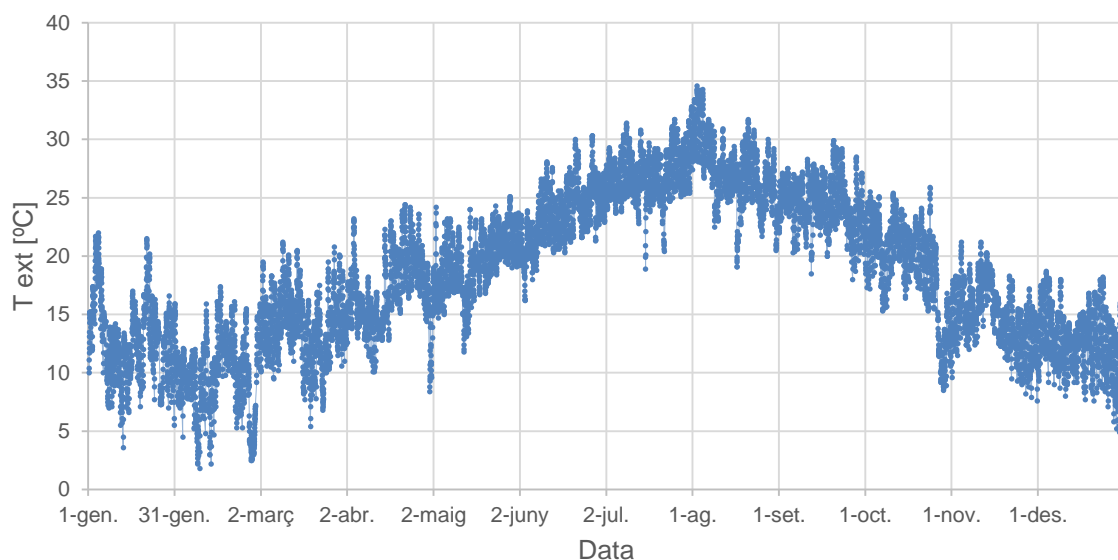
En el Gràfic 5 i el Gràfic 6, les temperatures corresponents a les plantes 1 i 2 presenten un comportament molt similar entre sí i força semblant a l'esperat: temperatures més elevades en els mesos d'estiu (d'entre 25 °C i uns 28,5 °C) i menys elevades en els mesos de més fred (d'entre 22 o 23° C i uns 27 °C).

A part de les dades corresponents a l'edifici, també són necessàries les corresponents a les condicions externes: la temperatura i humitat ambientals. Aquestes mesures s'ha obtingut de l'estació meteorològica més propera a la residència Sagrada Família: l'estació meteorològica anomenada "X2 Barcelona - Zoo".

De totes les dades proporcionades sobre les variables de les condicions externes, les que són d'interès en aquest cas són la temperatura instantània (T) [°C] i la humitat relativa instantània (HR) [%].

Les dades de les condicions ambientals externes estan preses cada mitja d'hora. En aquest cas, no hi havia cap valor nul, incorrecte o faltant en tot el conjunt, de manera que no ha sigut necessària la depuració de les dades de l'estació meteorològica (es pot veure clarament al Gràfic 7, a continuació). Es disposa de lectures des de l'1 de gener de 2018 a les 00:00, fins al 31 de desembre 2018 a les 23:30. En total, es compta amb 17.520 lectures de cada variable.

A continuació es poden veure els gràfics d'aquestes variables exteriors al llarg de l'any.



Gràfic 7: Temperatura exterior al llarg de l'any



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

ESEIAAT

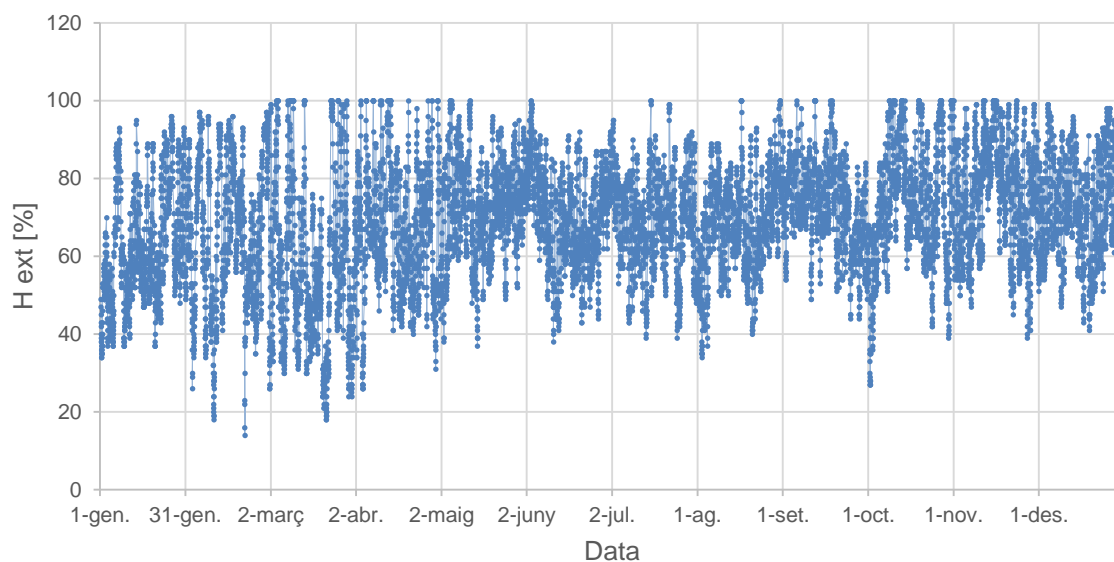
Carles Capdevila

Data: 10-06-2019

Pàgina: 53 de 106

Document 1: Memòria
del treball

**TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA
RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES**



Gràfic 8: Humitat relativa exterior al llarg de l'any

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div> <div>ESEIAAT</div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 54 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

6. PREPARACIÓ DE LES DADES

Tenint ja totes les dades de la residència correctament organitzades en una fulla de càlcul per a cada variable, s'ha procedit a depurar-les i tractar-les per a poder modelitzar el consum de gas i electricitat en funció de les condicions internes i externes. Aquest procés consta de tres blocs:

- Depuració de la base de dades de lectures de la residència, eliminant o corregint els valors incorrectes.
- Classificació de les lectures segons diversos criteris i càlcul dels consums rectificats.
- Unificació de les mesures internes i externes i càlcul dels paràmetres tèrmics exteriors.

6.1. DEPURACIÓ DE LA BASE DE DADES

Abans de tot cal recordar que, idealment, s'hauria de tenir una lectura cada 15 minuts. En la pràctica, però, això no era així, i hi havia nombroses lectures errònies o nul·les en les nostres dades, així com alguna lectura faltant (tot i que no tantes com en els períodes comentats a l'apartat 5).

Per a cadascuna de les variables interiors (ja que cada una estava en una fulla de càlcul independent) s'ha hagut de depurar les lectures dels sensors, procés que s'ha realitzat en diferents etapes:

a) Eliminació de mesures incorrectes, quan se n'ha pres més d'una en menys d'un minut

Quan s'ha pres dues mesures pràcticament alhora, sempre és la primera la bona, i la segona dona un valor nul o sinó exactament el mateix valor que l'anterior (evidenciant una mesura incorrecta).

Amb la funció "SI" de l'Excel s'ha pogut trobar totes les mesures que complien aquesta condició. A continuació, s'ha triat totes alhora, i s'ha eliminat la fila sencera a la que pertanyien, és a dir, tota la informació relativa a aquesta mesura incorrecta en aquest instant de temps. Aquest procés s'ha realitzat per a les 6 variables estudiades de la residència.

Inicialment, posant com a exemple el paràmetre "Sagrada.grEB_EAct", hi havia 26.307 dades, i després de la depuració n'ha quedat 25.718; de manera que casi 600 mesures (un 2,24 % de les mesures originals) eren incorrectes per haver-se pres just després d'una que sí que era vàlida.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 55 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

b) Correcció de mesures nul·les, notificades pels propis sensors

A part de les mesures errònies detectades anteriorment, n'hi ha d'altres que són nul·les perquè els sensors no han funcionat correctament, però que si que són necessàries per a aquest estudi. En aquests casos, s'ha assignat a aquesta lectura nul·la el valor resultant de fer una interpolació entre les lectures anterior i posterior a aquesta.

En cap dels casos s'ha trobat dues mesures nul·les consecutives, però si hagués estat així s'hauria realitzat la interpolació a partir de l'últim valor anterior i el primer valor posterior coneguts.

c) Coordinació de tots els tipus de lectures

S'ha observat que les mesures estaven preses seguint dos patrons clarament diferenciats:

Per una banda, les dades de consum es registren en el mateix instant. Per altra banda les condicions ambientals (temperatura i humitat) també es registre en el mateix instant però aquest no sempre coincideix amb l'instant en el que es registren les dades de consum.

Això ocasionava que hi hagués una quantitat diferent de dades entre els dos conjunts, i que a vegades un s'endarreria respecte l'altra si s'havia pres alguna mesura de més quan no tocava.

Aquest fet impedeix referenciar una presa de dades (de consums i ambientals) a un sol instant de temps, ja que les lectures no estaven ben coordinades. Per a solucionar-ho, s'ha posat les hores de les preses de dades de consums en una columna, i les hores de mesures de dades ambientals en una altra al seu costat. Ajudant-se de funcions condicionals de l'Excel (com la de "SI"), s'ha anat realitzant comprovacions i eliminant una a una les mesures que sobraven d'una columna o conjunt respecte de l'altra.

S'ha observat que totes les mesures que s'eliminaven seguint aquest criteri o eren interpolades o s'havien pres a destemps (no en intervals de cada 15 minuts) i tenien exactament el mateix valor que l'anterior lectura, de manera que no s'ha disminuït la mida de la mostra en realitzar aquest procés.

d) Eliminació de mesures preses fora dels intervals de 15 minuts

Un cop s'ha tingut el mateix nombre de preses de dades pels dos conjunts i de manera més coordinada, ja s'ha pogut procedir a deixar només les mesures preses en els intervals adequats per a totes les mesures (és a dir, cada 15 minuts). A més, aquest procés s'ha pogut realitzar més àgilment, al tenir totes les dades sincronitzades.

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 56 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

Per a fer-ho, s'ha establert una condició per a buscar els casos en què, en una hora, es prenguessin més de 4 mesures. S'ha decidit així ja que hi havia mesures preses amb aproximadament 1 minut de desfasament, i comparar cada lectura amb la immediatament anterior podia donar lloc a falsos positius.

En els casos en els quals es complia aquesta condició, s'ha identificat en aquest període de temps una o vàries mesures preses a destemps, les quals s'ha eliminat. Com en el cas anterior, tampoc es disminuïa la mida real de la mostra en fer-ho, ja que totes elles eren mesures errònies (eren lectures interpolades o tenien exactament el mateix valor que la lectura anterior, evidenciant així un mal funcionament del sensor).

Un cop realitzat aquest pas, existien 25.563 lectures per a les 6 variables interiors, de manera que s'ha eliminat 155 mesures més respecte de l'apartat a). Aquest pas s'ha fet força lent i pesat, ja que s'havia de mirar cada cas un per un per a comprovar on estava la mesura errònia i que no hi hagués afectacions, per exemple en mesures nul·les contínues a l'errònia (en aquest cas, s'havia de re-calcular la interpolació lineal, tot i que només ha calgut refer aquest càlcul en una o dues ocasions). Així doncs, les 25.563 dades reals que restaven suposaven aproximadament un 97 % respecte del total de 26.307 lectures inicials dels sensors (seguint amb l'exemple del paràmetre "Sagrada.grEB_EAct", tot i ara tenir totes les preses de dades ja coordinades). Tot i que es tracta d'un elevat percentatge, cal destacar que en total hi havia casi 750 mesures errònies a tractar.

e) Unificació de les mesures i interpolació de les dades restants

Tot i això, considerant només els períodes en els que es tenen dades, haurien de sortir exactament 25.594 mesures, però en aquest punt se'n disposava de 25.563 (31 menys).

Al tenir els dos conjunts de dades ja sincronitzats, i amb les mesures errònies corregides o eliminades, s'ha pogut procedir a ajuntar en una sola fulla de càlcul totes les lectures, per a tractar-les totes alhora. Així es minimitzen els errors i s'estalvia temps, però no es podia fer fins aquest moment ja que fins a l'últim pas encara s'havia de realitzar algun càlcul d'interpolació lineal, de manera que s'havien d'utilitzar les dades originals.

Tal i com ja s'ha comentat anteriorment, per simple observació de les dades i d'alguna gràfica, s'havien detectat prèviament tres períodes sense lectures (de nombroses mesures, tots ells):

- Del 12 de maig a les 22:00 a l'11 de juny a les 12:15
- De l'11 de juny a les 18:45 al 12 de juny a les 11:00
- Del 8 d'agost a les 13:30 al 15 d'octubre a les 16:00

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 57 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

Ara, en la fulla unificada, s'ha aplicat funcions condicionants semblants a les de l'apartat anterior, però ara per a detectar quan entre dues mesures no consecutives havia passat més temps del que realment tocava, per a triar així possibles forats en les dades d'aquest moment (a part dels ja coneguts).

En els casos en què el salt era de només mitja hora (i per tant faltava només una lectura), s'ha suposat que la mesura s'havia pres just en arribar al quart d'hora corresponent, i s'ha interpolat linealment el valor a partir de les mesures immediatament anterior i posterior.

En els casos en què el salt era d'entre tres quarts d'hora i una hora i quart (faltaven de 2 a 4 lectures), també s'ha suposat que les mesures s'havien pres just en els quarts d'hora corresponents i se n'ha interpolat linealment els valors a partir de les mesures més properes conegudes.

A continuació, ja amb totes les mesures corresponents, s'ha arrodonit l'hora de les lectures al quart d'hora més proper, per a facilitar tant la lectura de les mesures com els passos següents. Recordem que la gran majoria de les mesures no s'havien pres en el quart d'hora exacte, sinó uns segons o fins i tot algun minut abans o després.

6.2. CLASSIFICACIÓ DE LES LECTURES I CàLCUL DELS CONSUMS RECTIFICATS

Per a poder analitzar les dades i establir un model dels consums, primerament calia classificar totes les mesures en funció de diversos criteris. Aquestes són les classificacions i els criteris que s'ha seguit en cadascuna d'elles:

6.2.1. Dia / Nit

Classificació feta en funció de l'hora i minut en què s'havia pres cada mesura.

Segons la informació facilitada pel mateix centre residencial, la climatització de les àrees climatitzades de l'edifici funciona des de les 7:30 fins les 22:00 en els dies en els quals es posa en funcionament.

Sabent això, s'ha creat funcions de múltiples condicions en l'Excel per a obtenir el minut i l'hora de cada lectura. Si la mesura s'havia pres en l'interval mencionat, la funció li assignava la categoria "Dia"; si estava fora d'aquest període de temps, se li assignava la categoria "Nit".

Ja que el present estudi tracta sobre la climatització de l'edifici, les lectures que realment interessin són les de la franja d'hores a la que s'ha anomenat "Dia", i les lectures de "Nit" s'ha exclòs a l'hora de realitzar el model estadístic dels consums d'electricitat i de gas.

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 58 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

6.2.2. Època neutra / de calefacció / de refrigeració

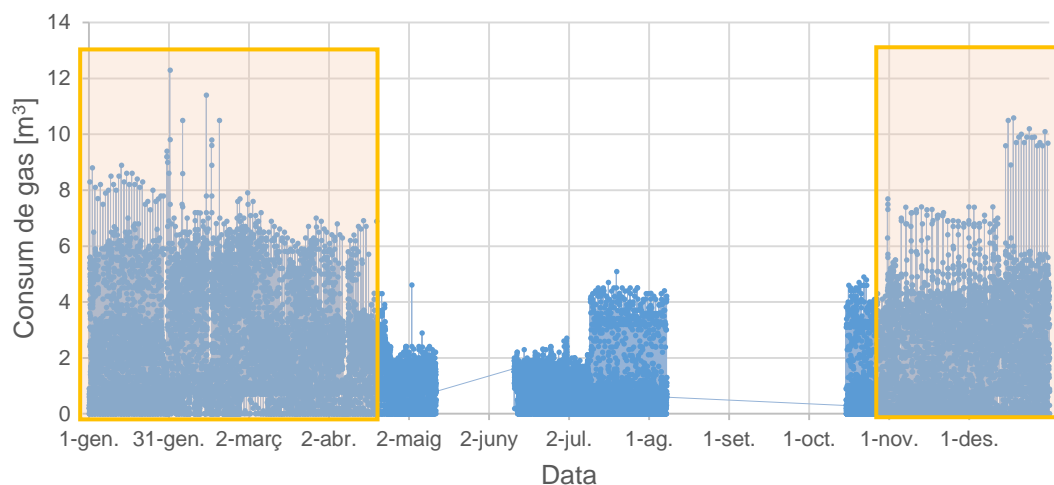
Classificació feta en funció de la data en què s'havia pres cada mesura.

Per a poder estudiar els consums elèctric i de gas associats a la climatització de l'edifici, calia conèixer quina part d'aquest consum era "base", és a dir, era el consum mínim i habitual, a causa d'altres activitats de l'edifici; per exemple, l'aigua calenta sanitària en el consum de gas, o la il·luminació en el consum d'electricitat.

Per poder diferenciar aquestes èpoques de consum de climatització de les de consum base, es va decidir assignar a cada mesura una classificació segons la data en la qual s'havia pres. Es van diferenciar tres èpoques:

- **Època de calefacció:** Període de temps en què, basant-se en els elevats consums de gas respecte de la resta de dades i en les baixes temperatures externes pròpies d'aquest moment de l'any, es va observar que s'havia produït el gruix del consum de gas destinat a escalfar l'edifici. Recordar que l'edifici s'escalfa gràcies a l'acció de dues calderes de gas.

En el Gràfic 9 es pot observar (dins del requadre) el període amb més pics en el consum de gas respecte de la resta de l'any, i per tant l'època de calefacció.

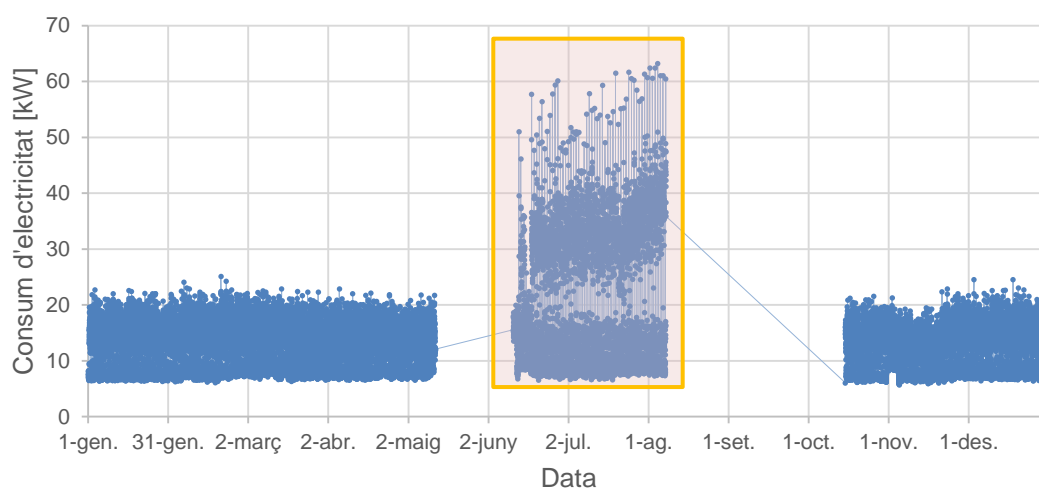


Gràfic 9: Consum instantani de gas al llarg de l'any i època de calefacció

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</div><div>BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 59 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

- **Època de refrigeració:** Període de temps en què, basant-se en els elevats consums d'electricitat respecte de la resta de dades i en les altes temperatures externes pròpies d'aquest moment de l'any, es va observar que s'havia produït el gruix del consum elèctric destinat a refrigerar l'edifici. Recordar que l'edifici es refrigera gràcies a l'acció de dues refredadores elèctriques.

En el Gràfic 10 es pot observar (dins del requadre) el període amb més pics en el consum d'electricitat respecte de la resta de l'any, i per tant l'època de refrigeració.



Gràfic 10: Consum instantani d'electricitat al llarg de l'any i època de refrigeració

- **Època neutra:** Període de temps en el què no s'ha detectat un consum elevat ni d'electricitat ni de gas. Es podria considerar l'època on ambdós consums formen part del consum "base" abans mencionat.

En la Taula 5, s'hi troben els límits exactes de cada època. Per a definir l'inici i final de l'època de refrigeració, s'ha agafat dates d'inici de mes que continguessin el conjunt de mesures destacat en el Gràfic 10, que es troba entre dos períodes sense lectures. L'època de calefacció es troba dividida en dues parts: una a principis d'any i l'altra a finals d'any. Per a definir aquests límits, s'ha buscat el primer o últim dia amb més d'una lectura de consum superior als 6 m³ de gas natural, que és un valor força elevat en comparació amb els de l'època neutra. L'època neutra no té límits definits, ja que s'ha considerat que totes les dades que no pertanyien a cap de les altres èpoques, pertanyien a aquesta.

Època	Inici	Final
Època calefacció (1)	01/01/2018 0:00	16/04/2018 0:00
Època refrigeració (2)	01/06/2018 0:00	01/09/2018 0:00
Època calefacció (1)	31/10/2018 0:00	01/01/2019 0:00
Època neutra (0)		

Taula 5: Límits d'inici i final de cada època

6.2.3. Càlcul dels consums base

Per calcular els consums base mencionats anteriorment, és a dir, aquesta mitjana de consum instantani en èpoques en què no s'utilitzaven aquestes instal·lacions de climatització, calia diferenciar entre el consum base d'una hora respecte l'altra, ja que no hi haurà el mateix consum a les 7 del matí que a les 2 del migdia, ni de gas ni d'electricitat.

Per tant, s'ha elaborat la Taula 6 i la Taula 7 on, per a cada època, es calcula la mitjana de consum instantani de les altres dues èpoques al llarg del dia per a cada hora, per tal d'obtenir el consum base per època i hora. Com que el sistema de climatització del centre residencial funciona de 7:30 a 22:00, es mostren els consums base corresponents a aquesta franja.

Aquest consum base s'expressa en mestres cúbics de gas natural en el cas de la calefacció [m^3 gas natural], i en kilowatts per a la refrigeració [kW].

Recordar que, segons el que s'ha establert a l'apartat anterior, l'època neutra és la 0, l'època de calefacció és la 1 i l'època de refrigeració és la 2.



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

Hora	Mitjana Època 0 [kW]	Mitjana Època 1 [kW]	Consum base època 2 (Refrigeració) [kW]
7:00	12,36	12,96	12,66
8:00	14,62	15,57	15,10
9:00	16,56	17,32	16,94
10:00	17,95	18,29	18,12
11:00	17,59	17,72	17,65
12:00	16,56	16,64	16,60
13:00	15,04	15,43	15,23
14:00	15,65	15,83	15,74
15:00	13,62	13,93	13,77
16:00	15,49	15,62	15,56
17:00	15,62	15,70	15,66
18:00	13,73	13,83	13,78
19:00	13,36	13,78	13,57
20:00	12,28	12,63	12,46
21:00	12,59	13,22	12,90
22:00	10,65	10,13	10,39

Taula 6: Mitjana de consum instantani d'electricitat a l'època de refrigeració al llarg del dia per hores

Hora	Mitjana Època 0 [m³ gas natural]	Mitjana Època 2 [m³ gas natural]	Consum base època 1 (Calefacció) [m³ gas natural]
7:00	1,58	1,06	1,32
8:00	1,87	1,30	1,58
9:00	1,88	1,33	1,61
10:00	1,90	1,46	1,68
11:00	1,83	1,37	1,60
12:00	1,48	1,26	1,37
13:00	1,64	1,23	1,43
14:00	1,88	1,43	1,66
15:00	1,33	1,03	1,18
16:00	1,31	0,94	1,13
17:00	1,14	1,02	1,08
18:00	0,96	0,60	0,78
19:00	0,82	0,58	0,70
20:00	0,77	0,50	0,64
21:00	0,93	0,70	0,81
22:00	0,77	0,25	0,51

Taula 7: Mitjana de consum instantani de gas a l'època de calefacció al llarg del dia per hores

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 62 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

6.2.4. Càlcul de les àrees climatitzades

Cal tenir en compte, però, que per a poder estimar els consums rectificats, és a dir, la part dels consums que es pot imputar a la climatització de les sales objecte de l'estudi, no n'hi havia prou amb saber el consum destinat a climatització (la resta del consum de cada mesura menys el consum base d'aquella hora): també calia saber quina part del consum de climatització realment escalfava les sales on hi ha sensors.

Per a poder adjudicar a cada sala objecte de l'estudi aquesta proporció respecte del consum total de climatització, s'ha decidit calcular aquest factor a partir d'una proporció d'àrees: s'ha calculat l'àrea corresponent a les zones de les que es tenien lectures, i l'àrea total climatitzada de l'edifici, és a dir, tenint en compte totes les plantes.

Cal destacar que, en aquesta residència, l'àrea refrigerada és igual a l'àrea calefactada, ja que s'utilitza la mateixa instal·lació per als dos usos. Per tant, ens referim a aquesta superfície simplement com a "àrea climatitzada".

Dividint aquestes dues àrees entre si, s'ha obtingut el factor de proporció de cada zona d'estudi respecte de l'àrea total climatitzada. En aquest apartat s'ha esmentat tant sales objecte d'estudi com zones objecte d'estudi, ja que en les tres plantes en les que hi havia sensors no s'ha considerat per a l'estudi només la sala on estaven ubicats aquests: també s'hi ha afegit passadissos o sales directament connexes i amb unes condicions ambientals semblants, ja que a l'escalfar o refrigerar no s'afecta només a una sala en concret, sinó a tota l'àrea en què hi hagin unes condicions similars i sempre que les portes entre les diferents regions estiguin obertes normalment, permetent l'homogeneïtzació de les condicions ambientals en tot aquest espai.

L'àrea climatitzada de cada planta, i en conseqüència la total de l'edifici, s'ha calculat basant-se en que les sales comunes, els passadissos, les sales de serveis o en les que es realitzen activitats grupals, les habitacions dels residents i els lavabos són les estances que es climatitzen. La resta de sales (aparcament, magatzems, zones amb instal·lacions, etc.) no s'ha considerat com a tal.

A tall d'exemple, en la Figura 12 es pot observar l'àrea objecte d'estudi de la planta 1, i en la Figura 13 s'hi pot veure tota l'àrea climatitzada corresponent a la mateixa planta. Totes les figures d'esquemes de distribució de les plantes són extretes del programa "DWG TrueView" d'Autocad, programa que permet visualitzar els arxius d'esquemes de distribució amb extensió ".DWG".



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

ESEIAAT

Carles Capdevila

Data: 10-06-2019

Pàgina: 63 de 106

Document 1: Memòria
del treball

TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES



Figura 12: Representació de l'àrea objecte d'estudi de la primera planta sobre un esquema de distribució d'aquesta planta (en color blau)



Figura 13: Representació de l'àrea climatitzada de la primera planta sobre un esquema de distribució d'aquesta planta (en color blau)

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div> <td rowspan="3">Carles Capdevila</td> <td>Data: 10-06-2019</td>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 64 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

En la Taula 8 s'hi troben la superfície objecte d'estudi de cada planta, la superfície climatitzada de cada planta, i la superfície total de la planta. A la Taula 9 hi ha un resum de la superfície objecte d'estudi de cada planta en la qual es disposa de dades ambientals, i la proporció d'aquesta superfície respecte de la superfície climatitzada total de l'edifici, obtenint així el factor de proporció per sala o zona objecte d'estudi. En ambdues taules les àrees s'expressen en metres quadrats [m²].

	P -2	P -1	P BAIXA	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	TOTAL
Àrea objecte [m²]	0,00	0,00	419,86	183,31	183,31	0,00	0,00	0,00	786,48
Àrea climatitzada [m²]	0,00	413,22	847,22	723,47	723,47	708,32	708,32	708,32	4832,34
Superfície total	977,50	945,44	922,70	991,70	765,93	763,87	763,87	763,87	6894,88

Taula 8: Resum de superfícies climatitzades per planta

Com que l'arquitectura de les plantes 1 i 2 és pràcticament igual, les dades de temperatura són molt semblants entre les dues plantes i totes les superfícies per planta coincideixen, s'ha decidit estudiar-les conjuntament: s'ha realitzat una mitjana entre les temperatures a les sales objecte d'estudi d'aquestes dues plantes. Cal recordar que només es disposava de lectures de la humitat relativa a la planta baixa.

	P BAIXA	P 1-2
Àrea objecte [m²]	419,86	366,62
Àrea climatitzada total de l'edifici [m²]	4832,34	4832,34
Proporció	8,69%	7,59%

Taula 9: Factors de proporció per zona objecte d'estudi

6.2.5. Càlcul dels consums rectificats

Sabent ja els consums base per hores i els factors de proporció a aplicar, s'ha calculat els consums rectificats per a cada presa de dades segons la fórmula:

$$\text{Consum rectificat} = \text{Factor de proporció} \cdot (\text{Consum instantani} - \text{Consum base de l'hora})$$

Equació 6: Càlcul del consum rectificat

En el consum d'electricitat el factor de proporció ha sigut l'àrea de la sala respecte l'àrea total climatitzada, però en el cas del consum de gas s'ha multiplicat tant per aquesta relació d'àrees com pel factor de conversió per passar de m³ de gas natural a kW, unificant així totes les unitats dels dos tipus de consums. Aquest factor de conversió és de 11,70 kW / m³ gas natural.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 65 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

Al realitzar aquests càlculs, com que es resta una mitjana a un valor instantani, en algunes ocasions el valor obtingut era inferior a zero. Com que un consum negatiu no és possible, aquests resultats irreals s'ha tractat perquè passessin a ser un zero.

Addicionalment, i com és obvi, si en les lectures originals hi havia un període sense dades tampoc s'ha calculat el consum rectificat en aquest període.

6.3. UNIFICACIÓ DE LES MESURES INTERNES I EXTERNES I CàLCUL DELS PARÀMETRES TÈRMICS EXTERIORS

Tal i com s'ha comentat a l'apartat 5 (DESCRIPCIÓ DE LA MOSTRA) les dades de la residència estaven preses cada 15 minuts, però les dades de l'exterior tenien una periodicitat de 30 minuts.

Per tant, per a poder ajuntar-les en una sola base de dades, ha calgut eliminar les dades interiors que corresponien a i 15 minuts i a i 45 minuts. De les 25.594 dades per a cada variable interior s'ha passat a 12.797.

Tenint les lectures de la residència amb la freqüència necessària, les hem pogut unificar en un sol full de càlcul amb les mesures de l'exterior. Cal recordar, però, que en les lectures de la residència hi havia certs períodes sense dades, de manera que per a ajuntar els dos conjunts de dades s'ha hagut de fer per coincidència del dia, hora i minut de la presa de dades.

Així doncs, en el nou full de càlcul es compta amb 17.520 lectures al llarg de l'any. La majoria tenen dades tant internes com externes, però algunes només contenen informació de l'exterior.

A partir de les dades de l'estació meteorològica s'ha calculat dos paràmetres que s'ha considerat que podien tenir impacte sobre els consums de la residència: la $T_{mitjana}$ i la T_{rm} .

Ambdós paràmetres estan estretament relacionats amb la temperatura exterior, i es va decidir considerar-los ja que podia ser que influïssin fins i tot més que aquesta en la sensació tèrmica, al no tractar-se de valors instantanis sinó al considerar un espai ampli de temps. A l'influir sobre la sensació tèrmica de les persones, podia ocasionar que es busqués augmentar o disminuir la temperatura a l'interior de l'edifici, causant així un efecte sobre els consums d'electricitat o de gas (en funció de si es buscava menys o més temperatura).

La $T_{mitjana}$ és la temperatura exterior mitjana d'un dia. Per a calcular-la es va realitzar una taula que inclogués el dia del mes i el mes de l'any (obtenint així una taula de 365 files), i es van realitzar les mitjanes de totes les temperatures exteriors filtrant per les condicions de dia i mes.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div> <div>ESEIAAT</div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 66 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

La T_{rm} és un factor de confort tèrmic que té en compte l'adaptabilitat dels individus a l'ambient, ja sigui modificant la roba que porten, el seu comportament, o fins i tot psicològicament. Per a calcular-lo, s'utilitza la fórmula següent, ja vista a l'apartat 2.4.3:

$$T_{rm} = 0,8 T_{ahir} + 0,2 T_{abans-d'ahir}$$

Equació 5: Càlcul de la T_{rm}

(T_{rm} = running mean temperature, °C; T_{ahir} = mitjana de les temperatures exteriors del dia anterior, °C; $T_{abans-d'ahir}$ = mitjana de les temperatures exteriors de fa dos dies, °C)

Com que només es pot calcular a partir del tercer dia amb dades, pels dos primers dia de l'any s'ha usat la $T_{mitjana}$ en lloc de la T_{rm} , tal i com es pot veure a la Figura 14.

	A	B	C	D	E
1	Dia	$T_{mitjana}$ [°C]	T_{rm} [°C]	DD	MM
2	01/01/2018	12,99	12,99	1	1
3	02/01/2018	13,88	13,88	2	1
4	03/01/2018	17,58	13,17	3	1
5	04/01/2018	19,06	14,62	4	1
6	05/01/2018	15,69	17,88	5	1
7	06/01/2018	12,53	18,38	6	1
8	07/01/2018	11,21	15,06	7	1
9	08/01/2018	9,56	12,27	8	1
10	09/01/2018	9,89	10,88	9	1
11	10/01/2018	11,31	9,63	10	1
12	11/01/2018	10,49	10,17	11	1
13	12/01/2018	8,17	11,15	12	1
14	13/01/2018	8,96	10,02	13	1
15	14/01/2018	9,59	8,33	14	1
16	15/01/2018	9,15	9,08	15	1

Figura 14: Fragment de la taula on s'ha calculat la $T_{mitjana}$ i la T_{rm}

Per finalitzar, i ja com a últim pas i amb els paràmetres adjacents calculats, s'ha extret d'aquesta base de dades totes les mesures que corresponien a la "Nit", és a dir, les dades que s'havien pres fora de les hores del dia en què el centre posa en funcionament la climatització (recordar que ho fa de 7:30 del matí a 22:00 de la nit).



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

7. ANÀLISI DE LES DADES

Amb totes les dades definitives, s'ha procedit a analitzar-les i a modelitzar els consums tant elèctric com de gas en funció de les condicions ambientals interiors i exteriors.

7.1. ANÀLISI DESCRIPTIVA DE LES DADES

A continuació es mostren, per a cada variable, els histogrames i els valors estadístics de la mitjana, la mediana, la desviació, la variància, el rang, el mínim, el màxim, els percentils i el número de dades (o número de casos) després de la depuració.

En primer lloc es presenta l'estadística descriptiva dels consums instantanis rectificats, cadascun en la seva època. Per tant, el consum de gas tant de la planta baixa com de les plantes primera i segona només s'analitza en l'època de calefacció (època 1), i el consum d'electricitat en els dos casos només s'analitza en l'època de refrigeració (època 2).

	Consum elèctric PB	Consum elèctric P 1-2	Consum de gas PB	Consum de gas P1-2
Número de casos	1329	1329	4294	4294
Mitjana	1,35	1,18	2,08	1,82
Mediana	1,49	1,30	1,75	1,53
Desviació	0,68	0,59	1,30	1,14
Variància	0,46	0,35	1,70	1,30
Rang	2,81	2,46	11,69	10,20
Mínim	0,04	0,03	0,02	0,02
Màxim	2,85	2,49	11,71	10,22
Percentil 25	1,08	0,94	1,14	0,99
Percentil 50	1,49	1,30	1,75	1,53
Percentil 75	1,83	1,60	3,02	2,64

Taula 10: Principals valors estadístics dels consums instantanis rectificats tant d'electricitat com de gas



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

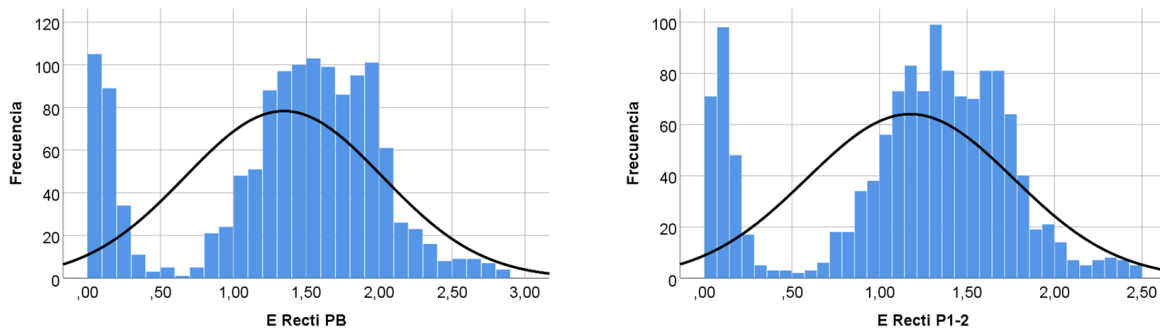


Figura 15: Histogrames del consum instantani rectificat d'electricitat per zona objecte d'estudi, en l'època de refrigeració

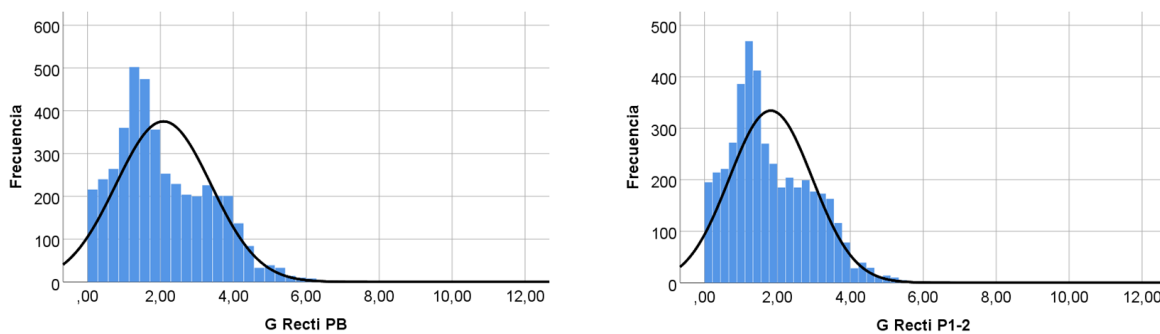


Figura 16: Histogrames del consum instantani rectificat de gas per zona objecte d'estudi, en l'època de calefacció

Tal i com es pot veure als histogrames, en l'època de refrigeració hi ha molts punts a prop de 0 kW. Això pot ser degut a que s'ha treballat amb consums instantanis, i que just en el moment en què es prenen les mesures no estava funcionant el sistema de refrigeració. Si no fos per aquesta acumulació de punts al voltant del 0, es pot veure que la distribució de les dades s'assemblaria notablement a d'una llei normal (la línia negra en els histogrames).

En canvi, en l'època de calefacció no hi ha tantes lectures properes al 0, però la distribució de les dades sembla més pròpia al de dues lleis normals (una amb esperança al voltant de 1,4 kW i l'altra al voltant de 3,2 kW). Es desconeix la causa d'aquest comportament de la variable.

A continuació, es mostra l'estadística descriptiva de les dades ambientals (tant interiors com exteriors) per l'època de refrigeració. Es mostren per separat de les de l'època de calefacció perquè el seu comportament és força diferent, i perquè els models de regressió de consum es realitzen per època.



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

	grTB_Temp1	grTB_Hume1	Temp 2-3	T ext	H ext
Número de casos	1329	1329	1329	1329	1329
Mitjana	26,01	61,81	26,16	26,98	66,57
Mediana	25,76	62,53	26,05	26,80	67,00
Desviació	0,87	4,83	0,54	2,68	11,76
Variància	0,75	23,31	0,29	7,18	138,34
Rang	4,06	32,88	3,30	14,30	66,00
Mínim	24,32	43,29	24,97	20,30	34,00
Màxim	28,38	76,16	28,28	34,60	100,00
Percentil 25	25,35	58,91	25,78	25,30	59,00
Percentil 50	25,76	62,53	26,05	26,80	67,00
Percentil 75	26,58	65,11	26,50	28,70	75,00

Taula 11: Principals valors estadístics de les condicions ambientals interiors i exteriors en l'època de refrigeració



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

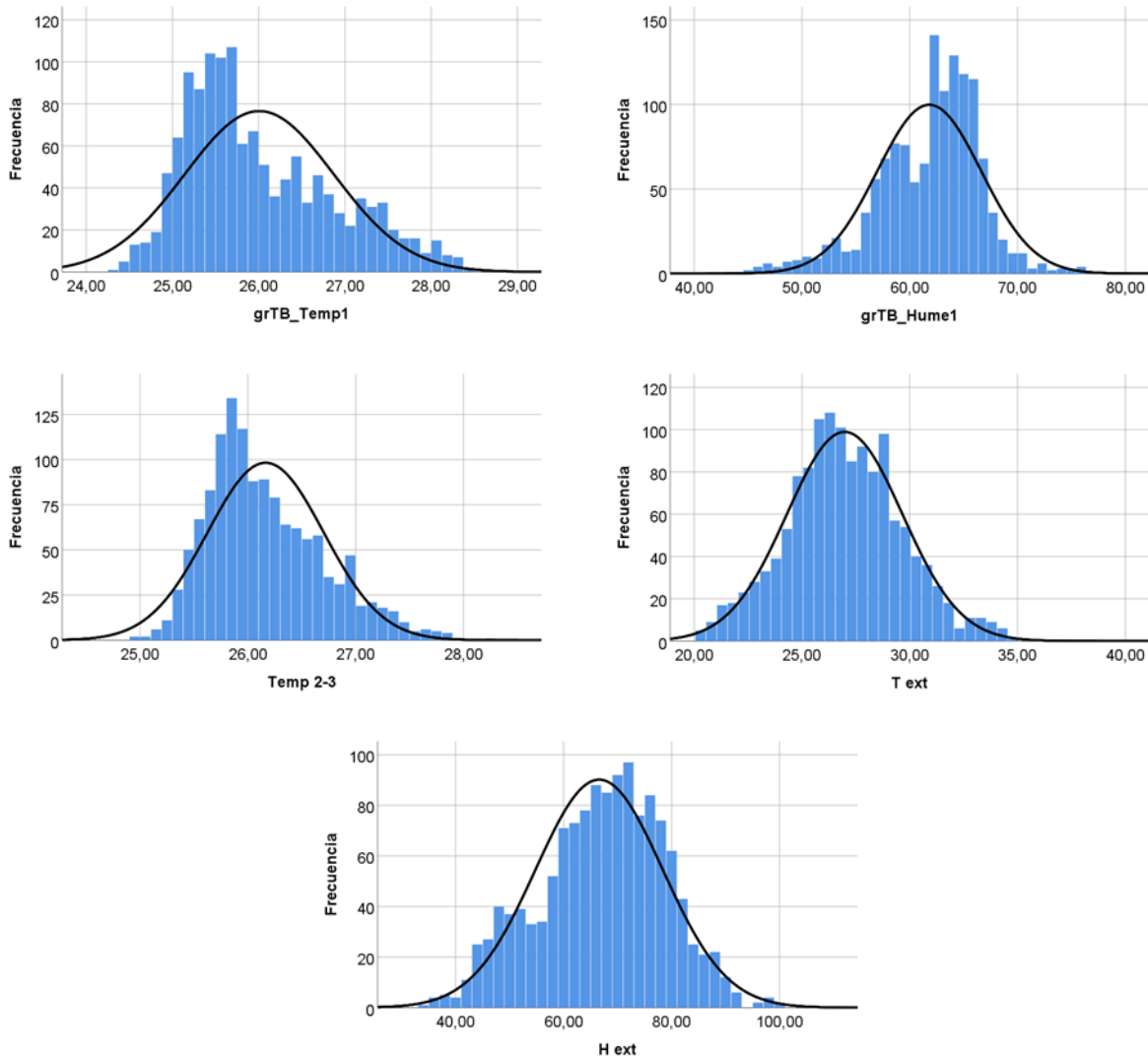


Figura 17: Histogrames de les condicions ambientals interiors i exteriors en l'època de refrigeració

Com es pot veure en els histogrames, les variables de temperatura i humitat interiors no s'acaben d'ajustar a una distribució normal, però les variables exteriors sí que ho fan. Això pot ser degut a que, en l'interior de la residència, hi ha molts factors que poden tenir influència sobre aquestes condicions, com podrien ser entre d'altres la inèrcia tèrmica de l'edifici, la concentració de persones en un espai determinat de manera repetida (recordem la rutina dels residents, comentada a l'apartat 4.2) o la incidència de radiació solar (a l'estar les sales objecte d'estudi tocant a la façana sud).

Per finalitzar, es presenta l'estadística descriptiva de les dades ambientals (tant interiors com exteriors) per l'època de calefacció.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div> <td rowspan="3">Carles Capdevila</td> <td>Data: 10-06-2019</td>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 71 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

	grTB_Temp1	grTB_Hume1	Temp 2-3	T ext	H ext
Número de casos	4294	4294	4294	4294	4294
Mitjana	25,60	37,86	24,72	12,94	66,00
Mediana	25,39	38,22	24,71	13,10	65,00
Desviació	2,06	8,21	0,80	3,45	18,18
Variància	4,24	67,45	0,64	11,87	330,54
Rang	10,70	52,52	4,40	21,40	86,00
Mínim	20,88	15,68	22,46	1,80	14,00
Màxim	31,58	68,20	26,85	23,20	100,00
Percentil 25	24,11	32,57	24,14	10,80	53,00
Percentil 50	25,39	38,22	24,71	13,10	65,00
Percentil 75	26,82	43,31	25,31	15,10	80,00

Taula 12: Principals valors estadístics de les condicions ambientals interiors i exteriors en l'època de calefacció

La temperatura interior de la planta baixa, en termes generals, es manté força semblant respecte l'època de refrigeració. En destaca, però, aquest màxim de més de 31 °C, que pot ser degut a múltiples factors o que, simplement, podria ser un error dels sensors, ja que no és d'esperar una temperatura tant alta i menys en època de calefacció. A més, cal destacar que el màxim per aquesta temperatura en època de refrigeració era de 28,4 °C.

La humitat interior de la planta baixa s'ha vist força reduïda respecte de l'època de refrigeració.

La temperatura de les plantes 1 i 2 s'ha mantingut força bé, amb uns valors lleugerament inferiors als de refrigeració.

Tot i que en teoria la temperatura de consigna és de 22 °C, és evident que en les tres plantes d'on es té informació i en ambdues èpoques s'acostuma a estar a alguns graus més a l'interior de l'edifici. De fet, el primer quartil ja supera els 24°C; és a dir, en un 75% de les mesures se supera aquesta temperatura.

En quant a les condicions ambientals externes, com era d'esperar, la temperatura és notablement més baixa que en l'època de refrigeració. La humitat s'ha mantingut si es tenen en compte la mitjana i els percentils, però en aquesta època la seva variància és més elevada que en l'època de refrigeració, denotant uns valors molt més dispersos.



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA
RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

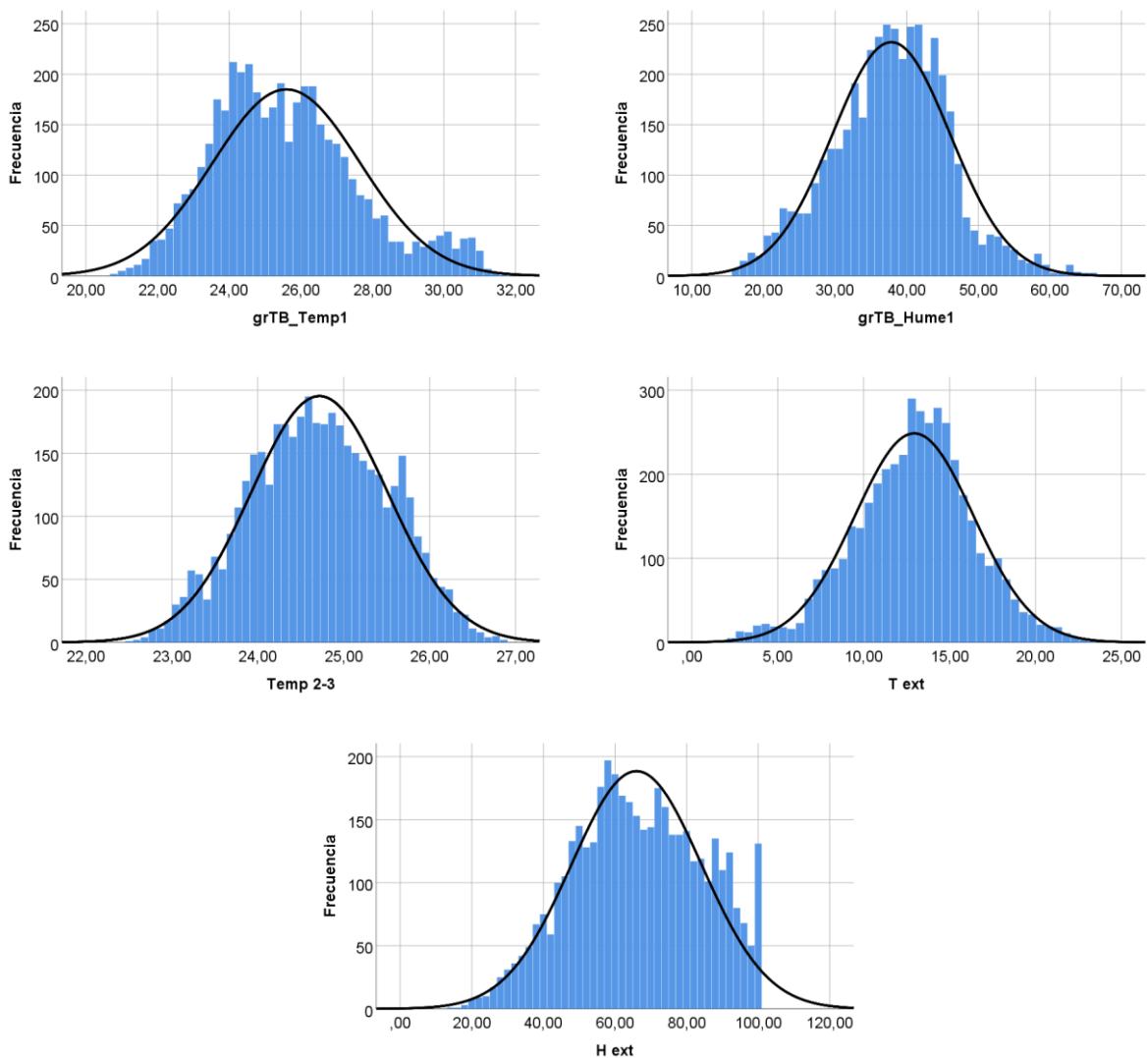


Figura 18: Histogrames de les condicions ambientals interiors i exteriors en l'època de calefacció

En certa mesura, es podria considerar que totes cinc variables tenen una distribució semblant al d'una llei normal, tot i les desviacions pròpies al treballar amb dades reals i amb tantes lectures diferents.

Destaca sobretot l'elevada freqüència en el 100% d'humitat relativa instantània exterior, segurament com a conseqüència de dies amb pluja. Aquest 100 % d'humitat relativa és el límit natural d'aquesta variable.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div> <td rowspan="3">Carles Capdevila</td> <td>Data: 10-06-2019</td>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 73 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

7.2. MODELITZACIÓ DELS CONSUMS MITJANÇANT REGRESSIONS LINEALS

Abans de realitzar les regressions lineals per a modelitzar els consums elèctric i de gas associats a la climatització de les sales comunes, s'ha optat per realitzar una anàlisi de correlació entre les variables Text, Tmitjana i Trm, ja que les dues últimes eren el resultat d'una sèrie de càlculs a partir de la Text.

Els resultats d'aquest anàlisi de correlació va ser el següent:

Variables	Coefficient de correlació
Text i Tmitjana	0,956
Text i Trm	0,901
Tmitjana i Trm	0,952

Taula 13: Resultats de l'anàlisi de correlació entre les variables Text, Tmitjana i Trm

Així doncs, es demostra aquesta forta correlació que es preveia (tots tres coeficients de correlació tres són molt propers a 1).

Per tant, en la creació dels diferents models de consum, es té en compte que el model presenti un coeficient de determinació (R^2) el més elevat possible i que, a més, si les variables Text, Tmitjana i Trm apareixen en el model, que els seus coeficients tinguin el mateix signe (tots siguin positius o negatius), ja que amb la forta correlació positiva existent entre aquestes variables, no tindria lògica que tinguessin coeficients amb signes oposats. Aquests serien el símptoma d'un problema de multicol·linealitat.

A l'hora de modelitzar els consums de climatització elèctric i de gas en funció de les condicions ambientals, els paràmetres que s'ha tingut en compte per a realitzar les diverses combinacions de variables per a realitzar aquests models han sigut els següents:

- Temperatura instantània interior de la sala objecte d'estudi [°C]
- Humitat relativa instantània interior de la sala objecte d'estudi [%]
- Temperatura instantània exterior [°C]
- Humitat instantània exterior [%]
- Mitjana de les temperatures exteriors d'aquell dia [°C]
- Trm d'aquell dia [°C]

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</div><div>BARCELONATECH</div></div><div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div></div>	<div>Carles Capdevila</div>	<div>Data: 10-06-2019</div>
		<div>Pàgina: 74 de 106</div>
		<div>Document 1: Memòria del treball</div>
<div>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</div>		

En quant al mètode seleccionat per a modelitzar aquests consums, s'ha optat per una regressió lineal amb un procediment "pas a pas cap enrere", és a dir, on es començava realitzant un model amb totes les variables i s'anaven eliminant una a una les menys significatives i es re-calculava el model, fins que tots els coeficients restants fossin significatius.

Els models que compleixen les condicions comentades, i per tant els que han resultat el model definitiu per a cadascun dels casos, han sigut els següents:

7.2.1. Model per a les sales comunes de la planta baixa en l'època de refrigeració

Les variables a considerar a l'hora d'elaborar el model de regressió han sigut les següents: Temp 1 [°C], Hume 1 [%], Text [°C], Hext [%], Tmitjana [°C] i Trm [°C].

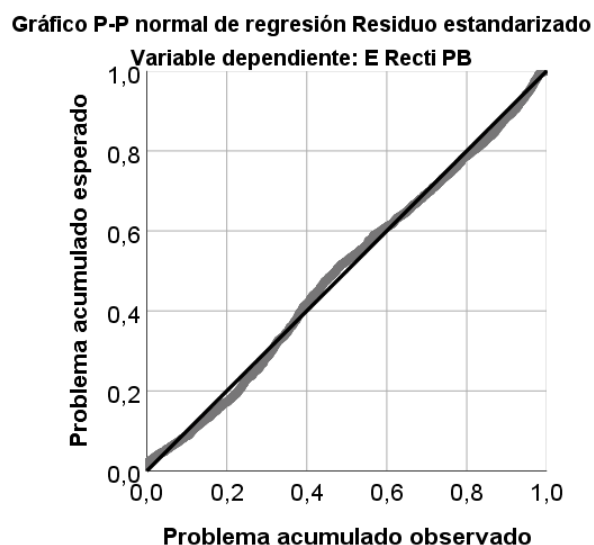
El model obtingut, que té un coeficient de determinació (R^2) de 0,412, és el següent:

Consum de refrigeració de la sala objecte d'estudi de la planta baixa

$$= 5,688 - 0,356 \cdot \text{Temp1} - 0,053 \cdot \text{Hume1} + 0,242 \cdot \text{Text} + 0,022 \cdot \text{Hext}$$

Equació 7: Model del consum de refrigeració de la sala objecte d'estudi de la planta baixa.

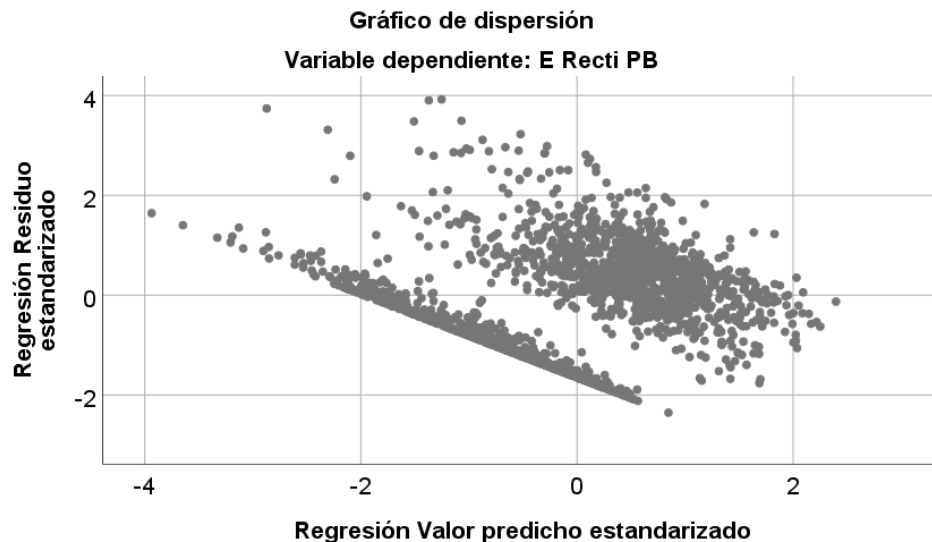
A continuació es mostren els gràfics de validació del model:



Gràfic 11: Gràfic probabilístic Normal dels residus del model del consum elèctric a la planta baixa



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES



Gràfic 12: Gràfic de dispersió dels residus del model del consum elèctric a la planta baixa versus valors modelitzats

Que en el gràfic probabilístic els punts es trobin pràcticament alineats sobre la diagonal indica que és acceptable el supòsit de normalitat de la resposta. El gràfic de dispersió, idealment, hauria de ser un conjunt de punts sense cap mena de tendència i 'amplitud constant. En canvi, el gràfic actual mostra dos conjunts de punts, fet que podria significar que hi ha alguna altra variable que s'hauria d'haver tingut en compte en el model. També podria ser a causa dels dos estats que presentava el consum elèctric en l'època de refrigeració en el Gràfic 1. Que en el conjunt de punts inferior molt dels punts formen una recta, segurament és a causa d'haver atribuït un consum igual a zero als consums rectificats negatius.

7.2.2. Model per a les sales comunes de les plantes primera i segona en l'època de refrigeració

Les variables a considerar a l'hora d'elaborar el model de regressió han sigut les següents: Temp 2-3 [°C], Text [°C], Hext [%], Tmitjana [°C] i Trm [°C]. (No hi ha dades sobre la humitat relativa en aquestes plantes)

El model obtingut, que té un coeficient de determinació (R^2) de 0,402, és el següent:

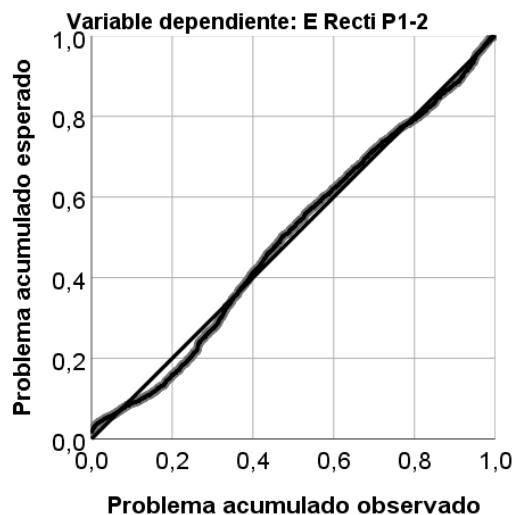
$$\begin{aligned} \text{Consum de refrigeració de les sales objecte d'estudi de les plantes 1 i 2} \\ = 8,729 - 0,478 \cdot \text{Temp (2 3)} + 0,164 \cdot \text{Text} + 0,005 \cdot \text{Hext} \end{aligned}$$

Equació 8: Model del consum de refrigeració de les sales objecte d'estudi de les plantes 1 i 2

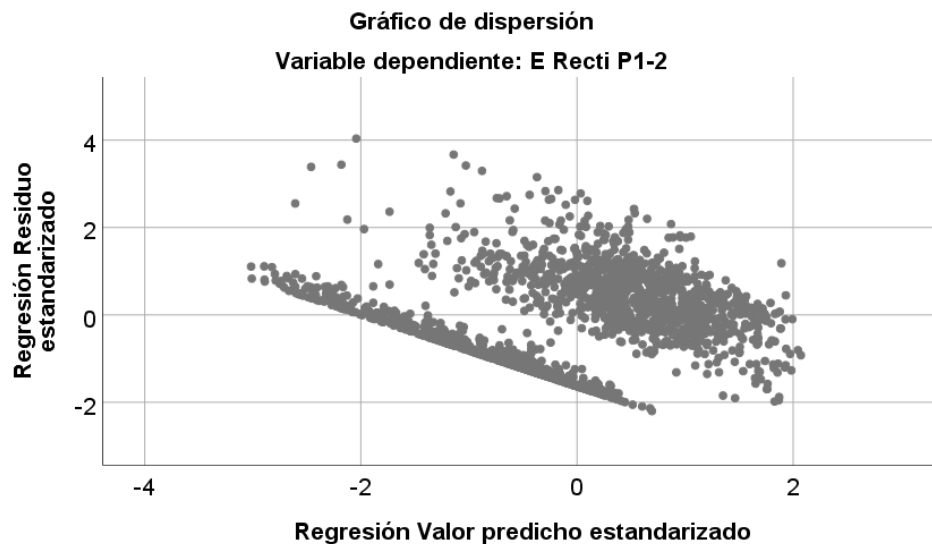
<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</div><div>BARCELONATECH</div></div><div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div></div>	<div>Carles Capdevila</div>	<div>Data: 10-06-2019</div>
		<div>Pàgina: 76 de 106</div>
		<div>Document 1: Memòria del treball</div>
<div>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</div>		

A continuació es mostren els gràfics de validació del model:

Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



Gràfic 13: Gràfic probabilístic Normal dels residus del model del consum elèctric a les plantes primera i segona



Gràfic 14: Gràfic de dispersió dels residus del model del consum elèctric a les plantes primera i segona versus valors model·litzats

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 77 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

Que en el gràfic probabilístic els punts es trobin pràcticament alineats sobre la diagonal indica que és acceptable la distribució Normal dels residus. El gràfic de dispersió, idealment, hauria de ser un conjunt de punts sense cap mena de tendència i d'amplitud constant. En canvi, el gràfic actual mostra dos conjunts de punts, fet que podria significar que hi ha alguna altra variable que s'hauria d'haver tingut en compte en el model. També podria ser a causa dels dos estats que presentava el consum elèctric en l'època de refrigeració en el Gràfic 1. Que en el conjunt de punts inferior molt dels punts formin una recta, és a causa d'haver atribuït un consum igual a zero als consums rectificats negatius.

7.2.3. Anàlisi dels models de consum de refrigeració de les sales comunes

Ambdós models tenen un coeficient de determinació força elevat, al voltant de 0,4, i els coeficients de les diferents variables tenen el mateix signe d'un model a l'altre.

En els dos models la temperatura interior té un coeficient negatiu, que implica que si es vol disminuir aquesta temperatura el consum de refrigeració augmentarà, i també en els dos la temperatura exterior i la humitat relativa exterior tenen un coeficient positiu, que implica que, per a mantenir la temperatura interior si la temperatura o la humitat exterior augmenten, el consum també haurà d'augmentar. Per tant, els signes d'aquests coeficients són els esperats i els lògics per a la refrigeració.

Si es pogués determinar i corregir la causa de les anomalies en els gràfics de residus dels dos models, seria interessant posar-los a prova amb altres dades del mateix centre residencial per tal de validar-los.

7.2.4. Model per a les sales comunes de la planta baixa en l'època de calefacció

Les variables a considerar a l'hora d'elaborar el model de regressió han sigut les següents: Temp 1 [°C], Hume 1 [%], Text [°C], Hext [%], Tmitjana [°C] i Trm [°C].

El model obtingut, que té un coeficient de determinació (R^2) de 0,120, és el següent:

$$\begin{aligned} &\text{Consum de calefacció de la sala objecte d'estudi de la planta baixa} \\ &= 1,836 + 0,098 \cdot \text{Temp1} - 0,095 \cdot \text{Text} - 0,007 \cdot \text{Hext} - 0,069 \cdot \text{Trm} \end{aligned}$$

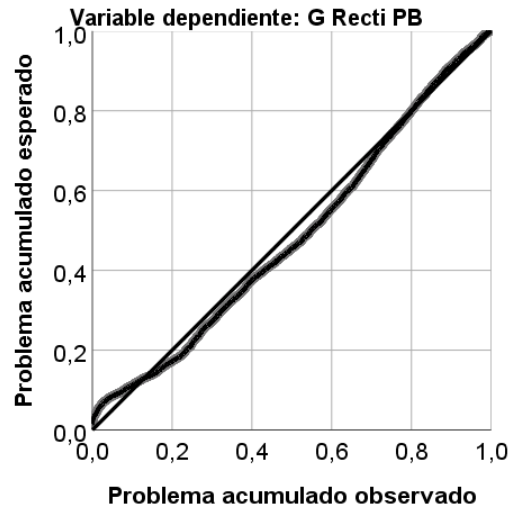
Equació 9: Model del consum de calefacció de la sala objecte d'estudi de la planta baixa

A continuació es mostren els gràfics de validació del model:



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

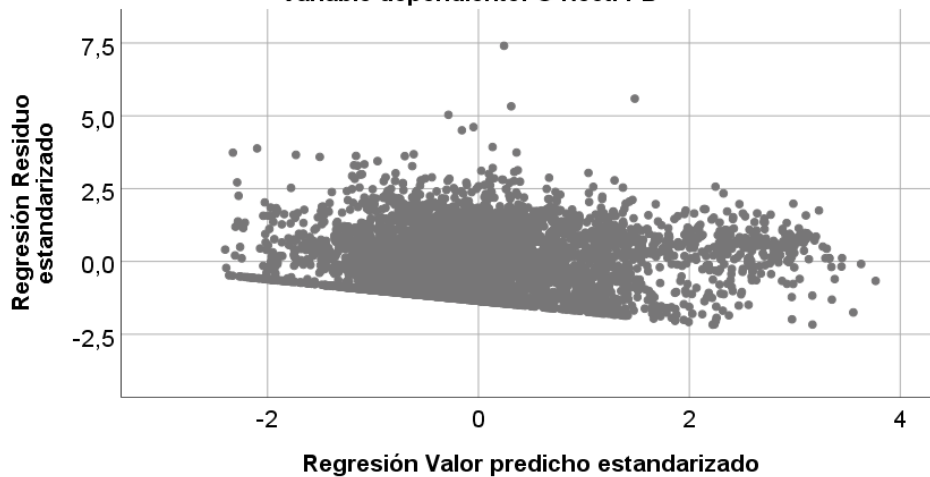
Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



Gràfic 15: Gràfic probabilístic Normal dels residus del model del consum de gas a la planta baixa

Gráfico de dispersión

Variable dependiente: G Recti PB



Gràfic 16: Gràfic de dispersió dels residus del model del consum de gas a la planta baixa versus valors model·litzats

Que en el gràfic probabilístic els punts es trobin pràcticament alineats sobre la diagonal indica que és acceptable la distribució Normal dels residus. El gràfic de dispersió, idealment, hauria de ser un conjunt de punts sense cap mena de tendència i d'amplitud constant. En aquest cas, aquesta dispersió aleatòria de punts es veu tallada per una recta, com a resultat d'haver atribuït un consum igual a zero als consums rectificats negatius.

 <div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 79 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

7.2.5. Model per a les sales comunes de les plantes primera i segona en l'època de calefacció

Les variables a considerar a l'hora d'elaborar el model de regressió han sigut les següents: Temp 2-3 [°C], Text [°C], Hext [%], Tmitjana [°C] i Trm [°C]. (No hi ha dades sobre la humitat relativa en aquestes plantes)

El model obtingut, que té un coeficient de determinació (R^2) de 0,094, és el següent:

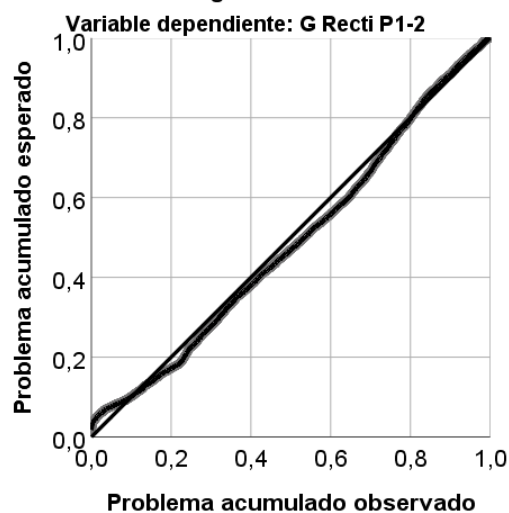
Consum de calefacció de les sales objecte d'estudi de les plantes 1 i 2

$$= 5,103 - 0,067 \cdot \text{Temp}(2-3) - 0,003 \cdot \text{Hext} - 0,079 \cdot \text{Tmitjana} - 0,064 \cdot \text{Trm}$$

Equació 10: Model del consum de calefacció de les sales objecte d'estudi de les plantes 1 i 2

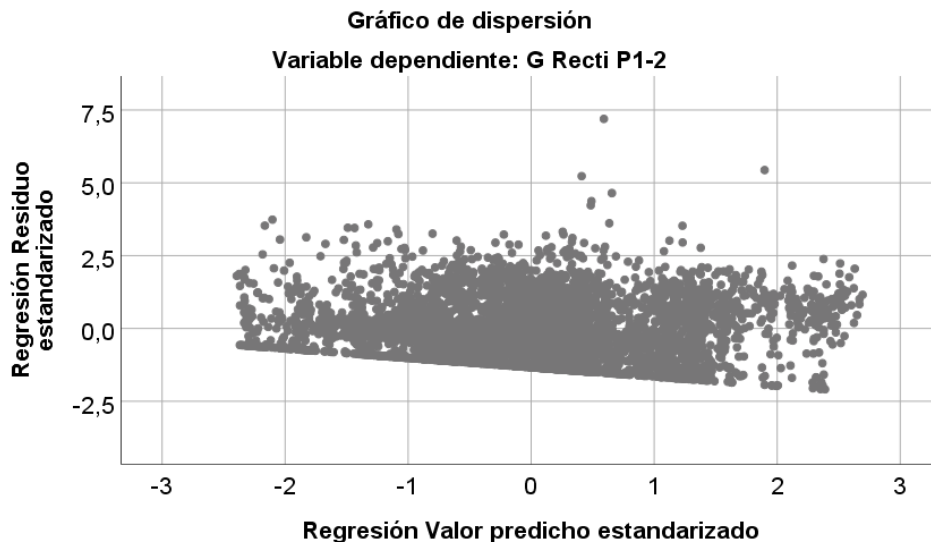
A continuació es mostren els gràfics de validació del model:

Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



Gràfic 17: Gràfic probabilístic Normal dels residus del model del consum de gas a les plantes primera i segona

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 80 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		



Gràfic 18: Gràfic de dispersió dels residus del model del consum de gas a les plantes primera i segona versus valors model·litzats

Que en el gràfic probabilístic els punts es trobin pràcticament alineats sobre la diagonal indica que és acceptable el supòsit de normalitat de la resposta. El gràfic de dispersió, idealment, hauria de ser un conjunt de punts sense cap mena de tendència i d'amplitud constant. En aquest cas, aquesta dispersió aleatòria de punts es veu tallada per una recta, com a resultat d'haver atribuït un consum igual a zero als consums rectificats negatius.

S'observa que els models per a l'època de calefacció expliquen un percentatge força baix de la variància del consum (el coeficient de determinació està al voltant de 0,1) respecte dels models de refrigeració (R^2 al voltant de 0,41).

Ja sigui perquè en èpoques de calefacció la inèrcia tèrmica de l'edifici és més elevada, perquè no s'ha tingut en compte en els models alguna variable en concret, perquè la variable original del consum de gas tenia valors propers a zero a l'estar en metres cúbics de gas natural, o per altres causes, és evident la dificultat de modelitzar amb precisió el consum de calefacció.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 81 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

7.2.6. Anàlisi dels models de consum de calefacció de les sales comunes

Primerament, cal esmentar les incoherents lectures sobre la temperatura en la zona objecte d'estudi de la planta baixa (arriba en varies ocasions fins a 31,5 °C), que podria ser a causa d'un mal funcionament dels sensors, o com a conseqüència d'algun fenomen que elevés notablement la temperatura en aquest període d'aproximadament un mes, tot i que no és probable. A més, el consum de gas de l'edifici presenta una gran variància. Tant a causa d'aquests factors, com possiblement de la inèrcia tèrmica pròpia de l'edifici en aquesta etapa de calefacció, els coeficients de determinació d'ambdós models es troba al voltant de 0,1.

En el cas del model de consum de calefacció a la planta baixa, els coeficients de les variables són els esperats: el coeficient positiu en la temperatura interior indica que per a augmentar aquesta temperatura el consum de gas també haurà d'augmentar, i el coeficient negatiu en la T_{rm} indica que, si la temperatura exterior ha sigut baixa durant els últims dies, el consum de calefacció augmentarà.

En canvi, en el model de consum de calefacció a les plantes primera i segona, tots els coeficients de les variables són negatius, sense diferenciar entre variables interiors i exteriors respecte l'edifici.

A causa de tots aquests factors relacionats amb els models de calefacció, no es pot afirmar amb seguretat que els models siguin vàlids. Tot i això, davant la possibilitat de que sí que ho siguin, s'ha procedit a seguir treballant amb ells.

7.3. CÀLCUL DE LA TEMPERATURA DE CONFORT SEGONS ELS DIFERENTS MODELS

Seguint els diferents models de confort tèrmic de l'apartat 2.4.3, s'ha calculat les temperatures de confort tant per la planta baixa com per les plantes primera i segona.

Els models són els següents:

Segons Hwang i Chen (2010), la temperatura operativa de neutralitat per la gent gran és de 23,2 °C a l'hivern (època de calefacció) i 25,2°C a l'estiu (època de refrigeració).

Segons Auliciems, la temperatura operativa de neutralitat es calcula com:

$$T_n = 1 + 17,7 + 0,27 T_0$$

Equació 1: Model de confort d'Auliciems

(T_n = temperatura operativa de neutralitat, °C; T_0 = mitjana mensual de temperatures exteriors, °C)

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div> <div>ESEIAAT</div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 82 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

Segons Peeters, la temperatura neutra o de preferència es calcula com:

$$T_n = 1 + 20,4 + 0,06 T_{e,ref} \text{ per a } T_{e,ref} < 12,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_n = 1 + 16,63 + 0,36 T_{e,ref} \text{ per a } T_{e,ref} \geq 12,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Equació 3: Model de confort de Peeters

(T_n = temperatura neutra o de preferència, $^{\circ}\text{C}$; $T_{e,ref}$ = temperatura exterior de referència, $^{\circ}\text{C}$)

On $T_{e,ref}$ té el valor:

$$T_{e,ref} = \frac{(T_{avui} + 0,8 \cdot T_{avui-1} + 0,4 \cdot T_{avui-2} + 0,2 \cdot T_{avui-3})}{2,4}$$

Equació 2: Càlcul de la $T_{e,ref}$

($T_{e,ref}$ = temperatura exterior de referència, $^{\circ}\text{C}$; T_{avui} = mitjana de les temperatures exteriors màxima i mínima del dia actual, $^{\circ}\text{C}$; $T_{avui-x} = T_{avui}$ de fa x dies, $^{\circ}\text{C}$)

Per finalitzar, i només en època de calefacció, també es pot aplicar el model experimental de TFM de la UPC, que és el següent:

$$T_c = 15,868 + 0,5167 T_{rm}$$

Equació 4: Model de confort experimental de la UPC

(T_c = temperatura de confort, $^{\circ}\text{C}$; T_{rm} = "running mean temperature", $^{\circ}\text{C}$)

La T_{rm} s'obté com:

$$T_{rm} = 0,8 T_{ahir} + 0,2 T_{abans-d'ahir}$$

Equació 5: Càlcul de la T_{rm}

(T_{rm} = running mean temperature, $^{\circ}\text{C}$; T_{ahir} = mitjana de les temperatures exteriors del dia anterior, $^{\circ}\text{C}$; $T_{abans-d'ahir}$ = mitjana de les temperatures exteriors de fa dos dies, $^{\circ}\text{C}$)

Com que la font d'energia (electricitat o gas) és diferent en les èpoques de refrigeració i de calefacció, i a més alguns models depenen de l'època, tractarem per separat aquestes dues èpoques.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 83 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

A causa dels períodes sense cap lectura, podem assignar uns mesos determinats a cada època. L'època de refrigeració consta dels mesos de juny, juliol i agost. L'època de calefacció consta dels mesos de gener, febrer, març i abril en la seva part inicial, i de octubre, novembre i desembre al final de l'any. El mes de maig pertany íntegrament a l'època neutra, i en el mes de setembre no es disposa de cap dada.

7.3.1. Comparació de les temperatures monitoritzades i de confort a l'època de refrigeració

En el Gràfic 19 i el Gràfic 20 es mostren la temperatura de la zona objecte d'estudi (de la planta baixa o de les plantes primera i segona, respectivament) i les temperatures de confort tèrmic segons els diferents models en l'època de refrigeració.

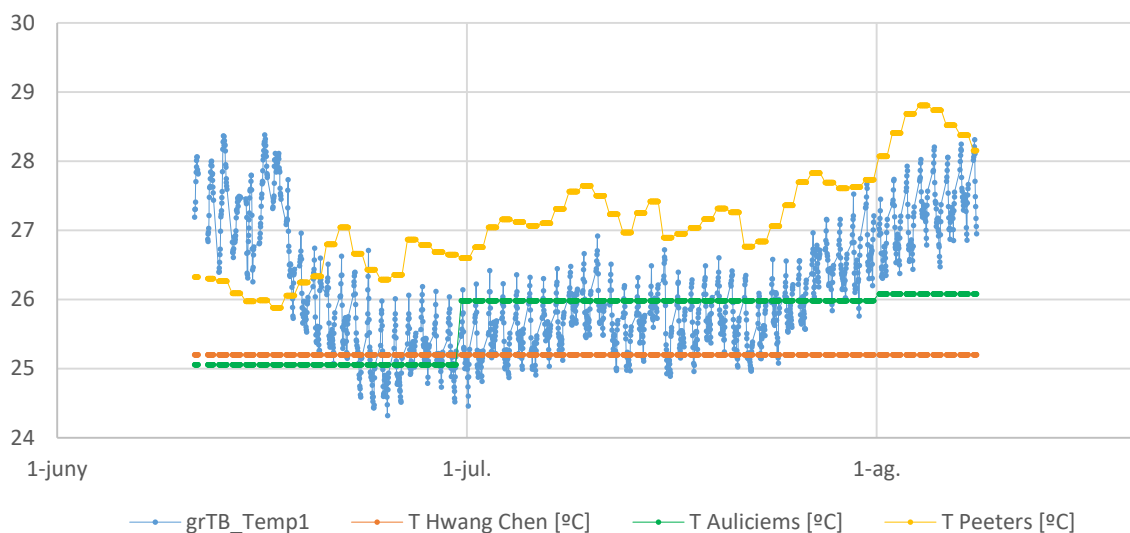
La temperatura de les dues zones objecte d'estudi és força semblant a les temperatures de confort dels models, tot i que sol ser inferior a la proposada segons el model de Peeters i superior a la del model de Hwang i Chen.

En el cas de la planta baixa, la temperatura de confort segons Auliciems és inferior a la monitoritzada fins a finals de juny, força semblant a finals de juny i fins a finals de juliol, i inferior a finals de juliol i durant el període d'agost en el que es tenen lectures.

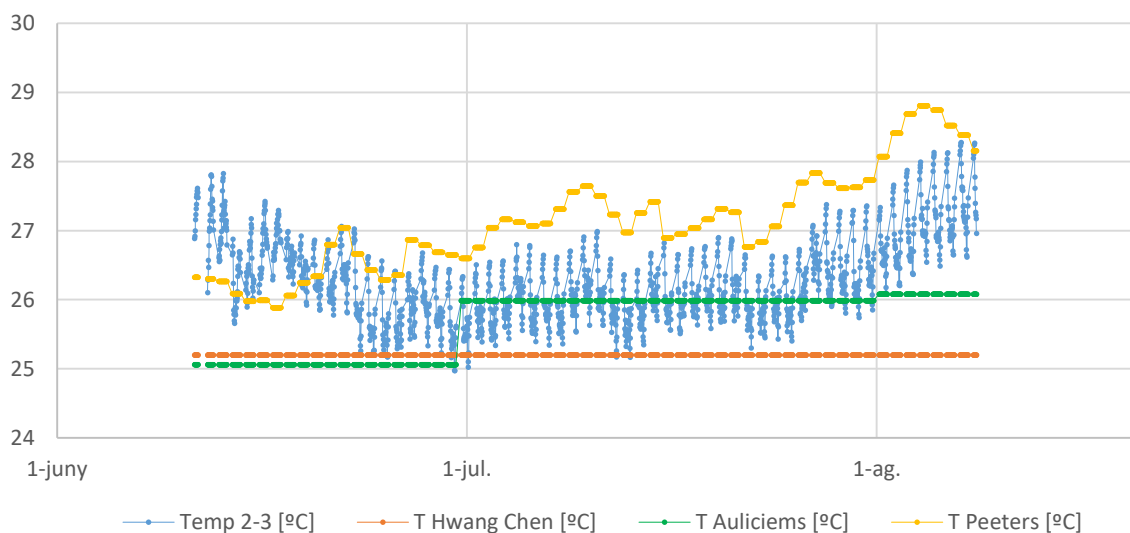
En el cas de les plantes primera i segona, la temperatura de confort segons Auliciems és inferior a la monitoritzada al juny, força semblant al juliol i inferior a finals de juliol i en el període d'agost en el que es tenen lectures.



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA
RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES



Gràfic 19: Comparació entre la temperatura de la planta baixa i les temperatures de confort segons diversos models, en l'època de refrigeració



Gràfic 20: Comparació entre la temperatura de les plantes 1 i 2 i les temperatures de confort segons diversos models, en l'època de refrigeració

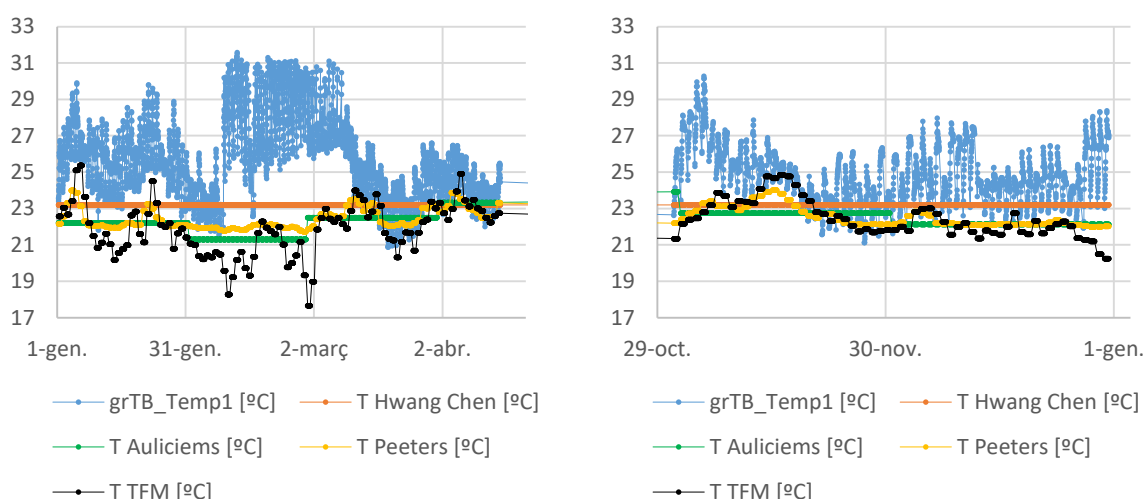


TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA
RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

7.3.2. Comparació de les temperatures monitoritzades i de confort a l'època de calefacció

En el i el es mostren la temperatura de la zona objecte d'estudi (de la planta baixa o de les plantes primera i segona, respectivament) i les temperatures de confort tèrmic segons els diferents models en l'època de calefacció.

Cada gràfic s'ha dividit en dues parts, mostrant el primer d'ells l'època de calefacció a principis d'any i el segon l'època de calefacció a finals d'any.



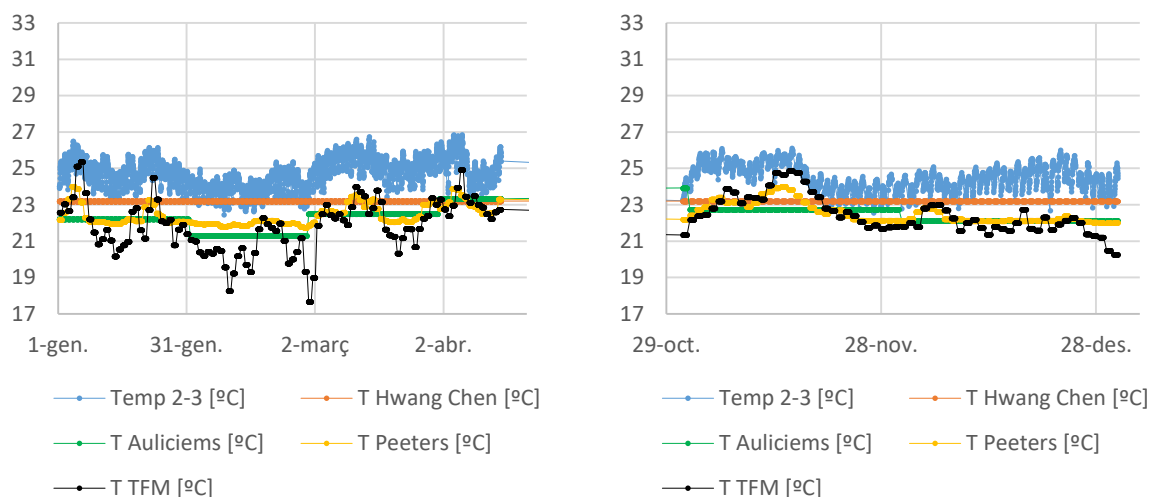
Gràfic 21: Comparació entre la temperatura de la planta baixa i les temperatures de confort segons diversos models, en l'època de calefacció

La temperatura instantània monitoritzada a la zona objecte d'estudi de la planta baixa és pràcticament sempre superior a les temperatures de confort dels diversos models en els mesos de gener a abril. En destaca especialment l'època ja comentada a l'apartat 5 (DESCRIPCIÓ DE LA MOSTRA) de principis d'abril fins a principis de març, on la temperatura monitoritzada sol oscil·lar entre uns 25 °C i fins a arribar a casi 32°C, valors que semblen poc coherents pels dies en què es dona i en comparació amb les dades de la resta del període.

Des de finals d'octubre fins a mitjans de novembre, la temperatura monitoritzada de la planta baixa és superior a les temperatures dels diferents models. Des de mitjans de novembre fins a la fi de l'any 2018, la temperatura monitoritzada sol ser lleugerament superior a les proposades pels models de confort tèrmic.



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES



Gràfic 22: Comparació entre la temperatura de les plantes 1 i 2 i les temperatures de confort segons diversos models, en l'època de calefacció

La temperatura instantània monitoritzada de les plantes 1 i 2 és molt més propera a les temperatures de confort dels models, en comparació amb la temperatura de la planta baixa ja vista. També oscil·la molt menys que aquesta (té una variància menor).

Aquesta temperatura instantània monitoritzada de les plantes primera i segona tendeix a ser superior a totes quatre temperatures de confort dels models, tal i com passa a la planta baixa (tot i que en el cas actual les dades semblen ser més coherents). La temperatura monitoritzada en les plantes 1 i 2, quan té uns valors més propers a les temperatures de confort dels models, acostuma a ser semblant a la temperatura de confort de Hwang i Chen, que en el període de calefacció acostuma a presentar els valors més elevats.

7.4. CÀLCUL DEL CONSUM ASSOCIAT A LA CLIMATITZACIÓ DE LES SALES COMUNES A PARTIR DE LA TEMPERATURA DE CONFORT SEGONS ELS DIFERENTS MODELS

Amb la temperatura de confort dels diferents models de confort tèrmic i utilitzant els models de consum de refrigeració i de calefacció per a cada sala objecte d'estudi obtinguts en aquest treball, s'ha calculat els consums resultants de mantenir aquestes temperatures a les sales objecte d'estudi de les diverses plantes. A continuació, s'ha comparat els consums obtinguts amb els consums monitoritzats.

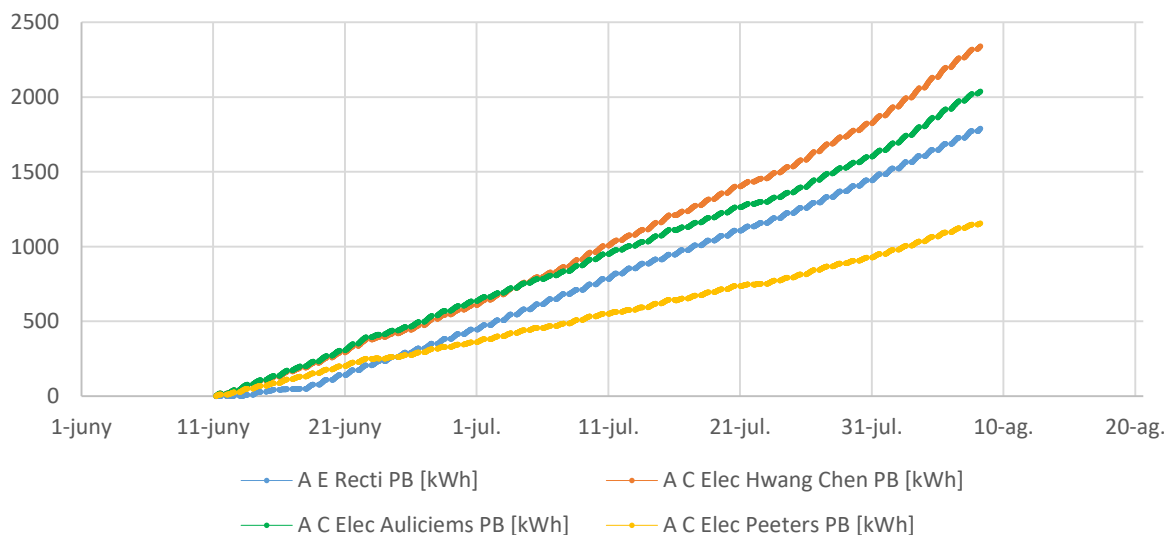
 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 87 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

Els consums calculats en aquest apartat s'expressen en quilowatts hora [kWh] en comptes de en quilowatts [kW], ja que es tracta de consums acumulats i no pas instantanis. D'aquesta manera, s'obtenen els consums anual o per èpoques total i, a més, es poden comparar els diferents consums entre sí, ja siguin el monitoritzat rectificat o els estimats a partir d'una temperatura de confort.

Tal i com s'ha fet a l'apartat 7.3, en aquest també tractarem per separat les èpoques de refrigeració i de calefacció (on els consums estudiats seran els d'electricitat i de gas, respectivament).

7.4.1. Càlcul del consum elèctric de climatització de les sales comunes segons els diferents models a l'època de refrigeració

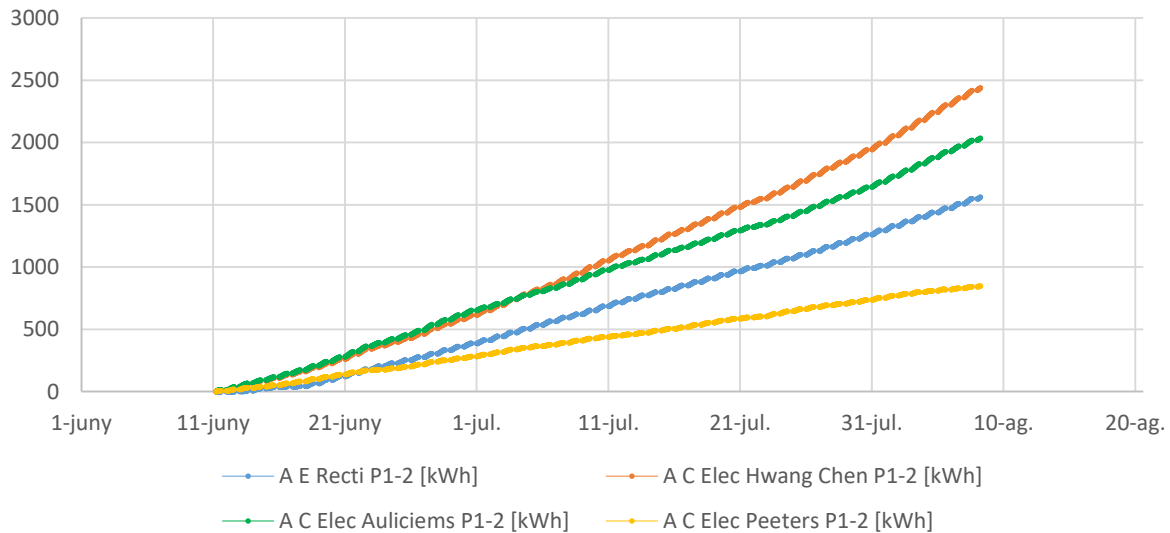
En aquest apartat, les variables que comencen per "A C Elec" són l'acumulat dels consums d'electricitat calculats a partir de la temperatura de confort d'algun dels models de confort tèrmic. "A E Recti" correspon al consum elèctric acumulat monitoritzat d'una sala objecte d'estudi.



Gràfic 23: Comparació dels consums acumulats d'electricitat en l'època de refrigeració corresponents a la planta baixa



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES



Gràfic 24: Comparació dels consums acumulats d'electricitat en l'època de refrigeració corresponents a les plantes 1 i 2

Ambdós casos presenten resultats semblants, on el model de Hwang i Chen és el que requereix un consum d'electricitat per a climatització més elevat. De major a menor consum de refrigeració, es tenen el model de Hwang i Chen, el model d'Auliciems, el consum monitoritzat rectificat i, amb un consum força inferior, el model de Peeters.

La Taula 14, Taula 15 i Taula 16 permeten comparar quantitativament els diferents consums de refrigeració.



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA
RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

	CE Monitoritzat [kWh]	CE Hwang Chen [kWh]	CE Auliciems [kWh]	CE Peeters [kWh]
Juny	223,27	303,86	318,09	180,37
Juliol	519,12	634,41	504,31	295,88
Agost	153,14	232,31	197,48	102,09
TOTAL REFRIGERACIÓ	895,53	1170,59	1019,88	578,35
CONSUM DE REFRIGERACIÓ RESPECTE DEL CONSUM DE REFRIGERACIÓ MONITORITZAT	DIFERÈNCIA [kWh]	275,06	124,35	-317,18
	DIFERÈNCIA [%]	30,71%	13,89%	-35,42%

Taula 14: Resum dels consums mensuals i comparativa dels consums segons el model, amb el consum de refrigeració de les sales comunes de la planta baixa

	CE Monitoritzat [kWh]	CE Hwang Chen [kWh]	CE Auliciems [kWh]	CE Peeters [kWh]
Juny	194,96	307,75	326,86	141,80
Juliol	453,30	690,01	515,19	235,08
Agost	133,72	222,55	175,74	47,56
TOTAL REFRIGERACIÓ	781,97	1220,32	1017,79	424,43
CONSUM DE REFRIGERACIÓ RESPECTE DEL CONSUM DE REFRIGERACIÓ MONITORITZAT	DIFERÈNCIA [kWh]	438,34	235,81	-357,54
	DIFERÈNCIA [%]	56,06%	30,16%	-45,72%

Taula 15: Resum dels consums mensuals i comparativa dels consums segons el model, amb el consum de refrigeració de les sales comunes de les plantes 1 i 2



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

	CE Monitoritzat [kWh]	CE Hwang Chen [kWh]	CE Auliciems [kWh]	CE Peeters [kWh]
Juny	418,22	611,61	644,94	322,17
Juliol	972,42	1324,42	1019,50	530,96
Agost	286,86	454,87	373,22	149,65
TOTAL REFRIGERACIÓ	1677,50	2390,90	2037,66	1002,78
CONSUM DE REFRIGERACIÓ RESPECTE DEL CONSUM DE REFRIGERACIÓ MONITORITZAT	DIFERÈNCIA [kWh]	713,40	360,16	-674,72
	DIFERÈNCIA [%]	42,53%	21,47%	-40,22%

Taula 16: Resum dels consums mensuals i comparativa dels consums segons el model, amb el consum de refrigeració de totes les sales comunes de les plantes objecte d'estudi

Observant els consums dels models de refrigeració a partir de les diverses temperatures (la monitoritzada i les dels models de confort tèrmic), es comprova el que ja s'espera al veure les temperatures de confort dels diferents models: es requereix un consum de refrigeració més elevat si es busca una temperatura menor a l'interior de la residència.

El model de Peeters, amb unes temperatures d'entre 26 °C i 29 °C força més elevades respecte les monitoritzades (que van d'uns 24 °C a uns 28 °C), suposa un consum molt inferior (l'estalvi estimat en les sales comunes de les plantes objecte d'estudi és d'uns 670 kWh, que suposa una reducció estimada del 40 % del consum de refrigeració estudiat).

Aquest estalvi de 670 kWh anuals en la refrigeració les sales comunes, suposant un valor orientatiu de 0,13 €/kWh (tot i la fluctuació del preu de l'electricitat), suposaria un estalvi d'uns 87 €. S'ha de considerar, però, que en l'època de refrigeració només es disposava de dades des de l'11 de juny al 8 d'agost: un període de tot just dos mesos. En conseqüència, l'estalvi econòmic mensual en electricitat per a refrigeració es situaria al voltant de 43,50 €. Si l'etapa de refrigeració real de l'edifici dura 4 mesos (des de mitjans de maig fins a mitjans de setembre, per exemple), l'estalvi econòmic anual podria arribar a ser notablement més elevat que el calculat de 87 €.

Tenint en compte la superfície objecte d'estudi d'aproximadament 786 m² (uns 420 de la sala objecte d'estudi de la planta baixa i uns 366 de les sales objecte d'estudi de les plantes 1 i 2), l'estalvi mensual es situaria en uns 0,43 kWh/m² refrigerat, que es traduiria en un estalvi en el cost energètic de refrigeració mensual d'uns 0,055 €/m² refrigerat.

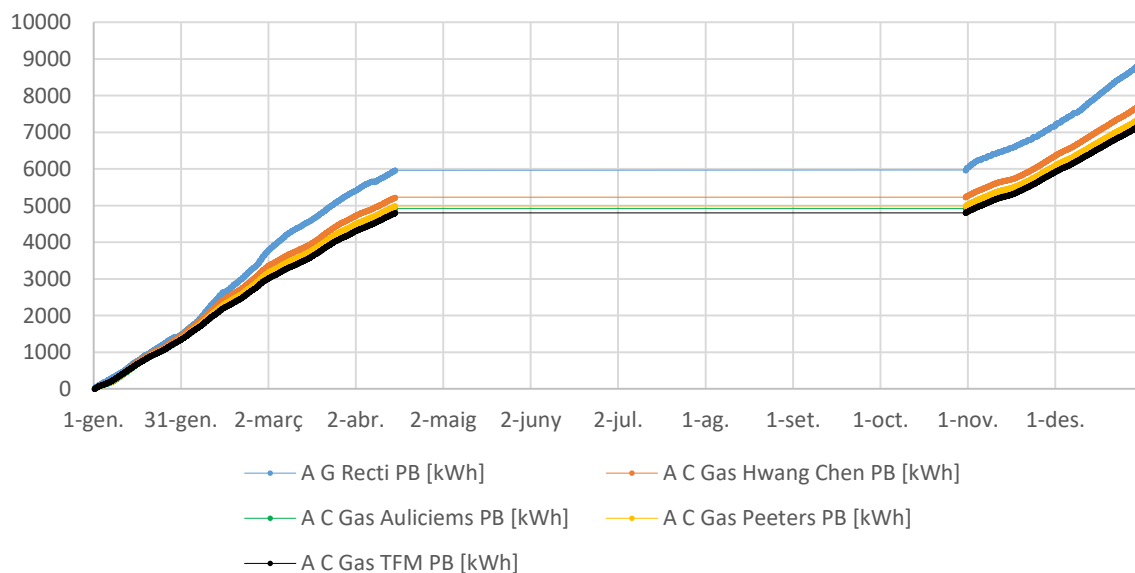
 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <hr/> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p>
		<p>Pàgina: 91 de 106</p>
		<p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

El model de Hwang i Chen proposa una temperatura constant de 25,2 °C, força inferior a les monitoritzades, i la més baixa d'entre tots els models de confort. Això es tradueix en un consum d'uns 710 kWh per sobre del consum actual de refrigeració, i suposa un increment en el consum de refrigeració del voltant del 42 %.

El model d'Auliciems proposa una temperatura al voltant de 25 °C en el mes de juny i al voltant de 26 °C durant juliol i agost. Sobretot al juliol, la temperatura proposada és molt semblant a la mitjana de temperatures monitoritzades. Les temperatures d'aquest model, però, són força interiors a les monitoritzades al juliol i a l'agost, i això acaba significat un augment d'uns 360 kWh i del 21% en el consum de refrigeració.

7.4.2. Càlcul del consum de gas de climatització de les sales comunes segons els diferents models a l'època de calefacció

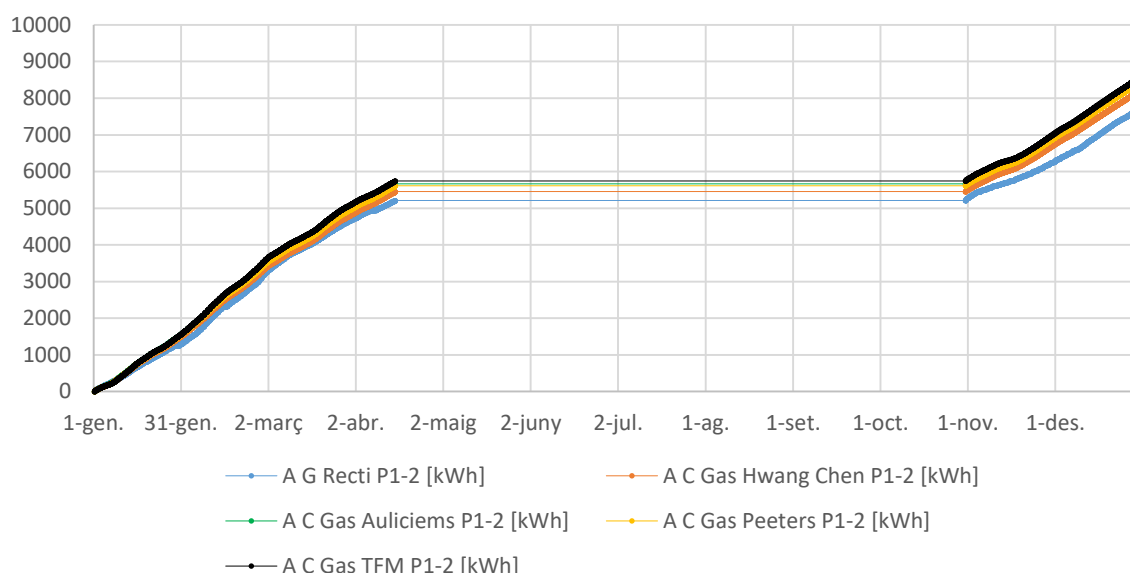
En aquest apartat, les variables que comencen per "A C Gas" són l'acumulat dels consums de gas calculats a partir de la temperatura de confort d'algun dels models de confort tèrmic. "A G Recti" correspon al consum de gas acumulat monitoritzat d'una sala objecte d'estudi.



Gràfic 25: Comparació dels consums acumulats de gas en l'època de calefacció corresponents a la planta baixa



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES



Gràfic 26: Comparació dels consums acumulats de gas en l'època de calefacció corresponents a les plantes 1 i 2

En el cas dels consums acumulats de gas a la planta baixa, el consum monitoritzat rectificat és notablement superior (al voltant de 1.000 kWh) als consums dels models de confort tèrmic. En els consums dels diferents models, destaca el consum del model de Hwang i Chen per ser el més elevat, i el consum del model experimental de TFM de la UPC per ser el més baix.

Tot i això, tenint en compte els valors que prenia la temperatura per a la planta baixa en l'època de calefacció, i la baixa variància del consum de calefacció explicada pel model de consum de gas per a aquesta planta, no es pot garantir que aquests resultats reflecteixin correctament la realitat.

En el cas dels consums acumulats de gas a les plantes primera i segona, el consum monitoritzat rectificat és notablement inferior (al voltant de 500 kWh) als consums dels models de confort tèrmic. En els consums dels diferents models, destaca el consum del model experimental de TFM de la UPC per ser el més elevat, i el consum del model de Hwang i Chen per ser el més baix.

Aquestes incongruències entre els dos casos estudiats es poden atribuir a les incoherències en les dades de temperatura de la planta baixa, a la dificultat de modelitzar amb precisió els consums de calefacció o als baixos coeficients de determinació dels dos models de consum de calefacció realitzats, ambdós al voltant de 0,1.

La Taula 17, Taula 18 i Taula 19 permeten comparar quantitativament els diferents consums de calefacció. En gris hi apareixen els mesos fora de l'època de calefacció.

	CG Monitoritzat [kWh]	CG Hwang Chen [kWh]	CG Auliciems [kWh]	CG Peeters [kWh]	CG TFM [kWh]
Gener	760,42	739,38	694,16	703,04	692,50
Febrer	1053,87	887,93	809,38	836,60	777,32
Març	869,63	714,64	682,32	688,44	662,77
Abril	449,37	421,12	424,13	417,52	418,58
Octubre	165,33	151,14	152,21	149,65	148,40
Novembre	561,54	535,72	515,34	521,80	529,97
Desembre	893,53	739,57	690,45	694,19	679,14
TOTAL CALEFACCIÓ	4753,68	4189,49	3967,99	4011,24	3908,67
CONSUM DE CALEFACCIÓ RESPECTE DEL CONSUM DE CALEFACCIÓ MONITORIZAT	DIFERÈNCIA [kWh]	-564,19	-785,69	-742,44	-845,02
	DIFERÈNCIA [%]	-11,87%	-16,53%	-15,62%	-17,78%

Taula 17: Resum dels consums mensuals i comparativa dels consums segons el model, amb el consum de calefacció de la planta baixa



TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA
RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES

	CG Monitoritzat [kWh]	CG Hwang Chen [kWh]	CG Auliciems [kWh]	CG Peeters [kWh]	CG TFM [kWh]
Gener	664,00	769,59	800,59	794,51	801,74
Febrer	920,23	890,36	944,22	925,56	966,20
Març	759,35	760,31	782,47	778,27	795,87
Abril	392,39	437,05	434,99	439,52	438,79
Octubre	144,36	136,84	136,11	137,86	138,72
Novembre	490,34	613,33	627,31	622,88	617,28
Desembre	780,23	794,60	828,28	825,72	836,04
TOTAL CALEFACCIÓ	4150,89	4402,09	4553,97	4524,31	4594,65
CONSUM DE CALEFACCIÓ RESPECTE DEL CONSUM DE CALEFACCIÓ MONITORIZAT	DIFERÈNCIA [kWh]	192,15	312,42	280,80	341,53
	DIFERÈNCIA [%]	6,05%	9,71%	9,00%	10,69%

Taula 18: Resum dels consums mensuals i comparativa dels consums segons el model, amb el consum de calefacció de les plantes 1 i 2

	CG Monitoritzat [kWh]	CG Hwang Chen [kWh]	CG Auliciems [kWh]	CG Peeters [kWh]	CG TFM [kWh]
Gener	1424,42	1508,97	1494,76	1497,55	1494,23
Febrer	1974,10	1778,29	1753,60	1762,15	1743,52
Març	1628,98	1474,95	1464,79	1466,71	1458,65
Abril	841,76	858,17	859,11	857,04	857,37
Octubre	309,69	287,98	288,32	287,52	287,12
Novembre	1051,88	1149,05	1142,65	1144,68	1147,24
Desembre	1673,75	1534,17	1518,73	1519,91	1515,18
TOTAL CALEFACCIÓ	8904,58	8591,58	8521,96	8535,55	8503,31
CONSUM DE CALEFACCIÓ RESPECTE DEL CONSUM DE CALEFACCIÓ MONITORIZAT	DIFERÈNCIA [kWh]	-189,83	-244,95	-230,46	-258,30
	DIFERÈNCIA [%]	-3,52%	-4,30%	-4,14%	-4,51%

Taula 19: Resum dels consums mensuals i comparativa dels consums segons el model, amb el consum de calefacció de totes les plantes objecte d'estudi

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div> <div>ESEIAAT</div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 95 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

A la planta baixa, la temperatura monitoritzada rarament és inferior a alguna de les temperatures dels models de confort, tal i com es pot veure al Gràfic 21. A més, el mes en el qual s'ha registrat altes temperatures, la diferència d'aquestes respecte de les temperatures dels models de confort pot ser des de 4 °C i fins a uns 10 °C, és a dir, una diferència molt significativa.

En conseqüència, entre el consum de calefacció monitoritzat d'aquesta planta i els consums dels diferents models, hi ha diferències des de 560 kWh (en el model de Hwang i Chen, i suposant un estalvi de l'11 % del consum anual de calefacció per a aquesta planta) i de fins a 840 kWh (en el model experimental de TFM de la UPC, que suposaria un estalvi de pràcticament el 17 % del consum de calefacció de la planta baixa).

A les plantes primera i segona, la temperatura monitoritzada és gairebé sempre superior a les temperatures dels models de confort, però aquesta diferència no sol ser de més de 2 o 3 °C (excepte respecte del model experimental de TFM de la UPC, que en alguns casos presenta variacions en la temperatura molt sobtades i elevades).

En canvi, tots els consums dels diferents models de confort tèrmic són superiors al consum monitoritzat atribuït a aquesta planta, amb uns augments d'entre 190 kWh (en el model de Hwang i Chen, suposant un augment anual del voltant del 6 % en el consum de calefacció) i de fins a 340 kWh (en el model experimental de TFM de la UPC, segons el qual l'augment de consum de calefacció de les plantes 1 i 2 és del voltant del 10 %). Aquesta incongruència reforça la hipòtesi de que els models de consum de gas per a calefacció és possible que no siguin vàlids.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	<div>Carles Capdevila</div>	<div>Data: 10-06-2019</div>
		<div>Pàgina: 96 de 106</div>
		<div>Document 1: Memòria del treball</div>
<div>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</div>		

8. CONCLUSIONS

Per començar, cal esmentar la necessitat de realitzar més estudis com aquest amb l'objectiu d'ajustar les temperatures de consigna dels centres residencials, garantint el confort tèrmic dels residents i analitzant com aquest confort afecta als consums energètics de l'edifici.

S'ha de tenir en compte que en el present estudi s'ha realitzat hipòtesis per tal d'ajustar alguns dels models de confort tèrmic utilitzats, ja que la majoria dels models actuals no són vàlids per la gent gran. Una vegada es tinguessin uns models més ajustats per a aquest sector de la població, s'haurien de refer els càlculs d'aquest estudi.

En relació al consum d'electricitat per a refrigeració, s'ha desenvolupat uns models de consum (un per a la planta baixa i un per a les plantes primera i segona) que semblen ser coherents i explicar bona part de la variància d'aquest consum d'electricitat per a refrigerar el centre residencial, tot i que no han quedat del tot validats a l'observar-se certes tendències en els seus gràfics de dispersió. Seria convenient seguir treballant amb ells per a comprovar-ne la validesa.

Els dos models del consum de refrigeració a les sales comunes desenvolupats tenien en compte la temperatura interior amb un coeficient negatiu i la temperatura i humitat relativa exterior amb un coeficient positiu. Aquests coeficients indiquen, respectivament, que per a disminuir la temperatura interna el consum de refrigeració hauria d'augmentar, i que si la temperatura i la humitat relativa exteriors augmenten i es vol conservar la temperatura interior, serà necessari un augment del consum d'electricitat per a refrigerar les sales objecte d'estudi. El model de les sales comunes de la planta baixa inclou la variable de la humitat relativa interior, però el model de les sales objecte d'estudi de les plantes primera i segona no ho fa, ja que no es disposava de dades sobre la humitat en aquestes plantes.

En aquesta època de refrigeració, les temperatures interiors solen ser semblants o superiors a les temperatures de confort dels models de Hwang i Chen i d'Auliciems. Amb les temperatures d'aquests models es produiria un increment del consum anual de refrigeració per a les plantes baixa, primera i segona del voltant del 42 % i del 21 %, respectivament. En canvi, les temperatures interiors es troben al voltant de 2 °C per sota de les temperatures del model de Peeters. Seguint aquest model de confort, i al no ser necessària tanta refrigeració, es podria produir un estalvi en el consum de refrigeració per a les plantes ja esmentades del voltant d'un 40 %. L'estalvi anual mencionat en el consum de refrigeració està al voltant del 670 kWh (uns 0,43 kWh/m² refrigerat, mensualment), i suposaria un estalvi mensual del cost energètic de refrigeració d'uns 43,50 €, només en les sales comunes objecte d'estudi (uns 0,055 €/m² refrigerat, mensualment).

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div> <div>ESEIAAT</div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 97 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

Tractant ara el consum de gas per a calefacció, també s'ha desenvolupat dos models de consum per a les mateixes zones. Aquests models, però, expliquen una part reduïda de la variància del consum de gas per a calefacció. A més, en un dels models de consum les dades de la temperatura interior no semblaven ser coherents, i en l'altre els coeficients del model no eren lògics. Tot i això, s'ha procedit a seguir treballant amb els dos models, estimant els consums de calefacció en funció de les temperatures dels models de confort, i els resultats semblen correctes. Cap dels dos models de consum de gas per a calefacció es considera validat, i caldria seguir treballant amb ells per a comprovar si podrien arribar a ser-ho.

Al ser tant probable que els models de calefacció proposats no siguin vàlids, no es pot arribar a estimar amb prou precisió l'impacte en el consum de calefacció resultant d'imposar la temperatura de confort tèrmic dels diferents models de confort, i per tant no es pot arribar a una conclusió ferma. Tot i això, s'ha realitzat els càlculs corresponents, els quals poden ser consultats en aquest estudi.

8.1. RECOMANACIONS DE CONTINUACIÓ DEL TREBALL

Es recomana aplicar els models de consum, tant de gas com d'electricitat, a dades futures del mateix centre residencial, per tal d'acabar de comprovar la validesa dels models. A més, d'aquesta manera es podrien obtenir dades dels períodes sense cap lectura en l'estudi actual, i potser les dades de consum de gas i de temperatura interior a l'època de calefacció serien més fiables i es podria modelitzar amb més precisió i fiabilitat el consum de gas per a calefacció.

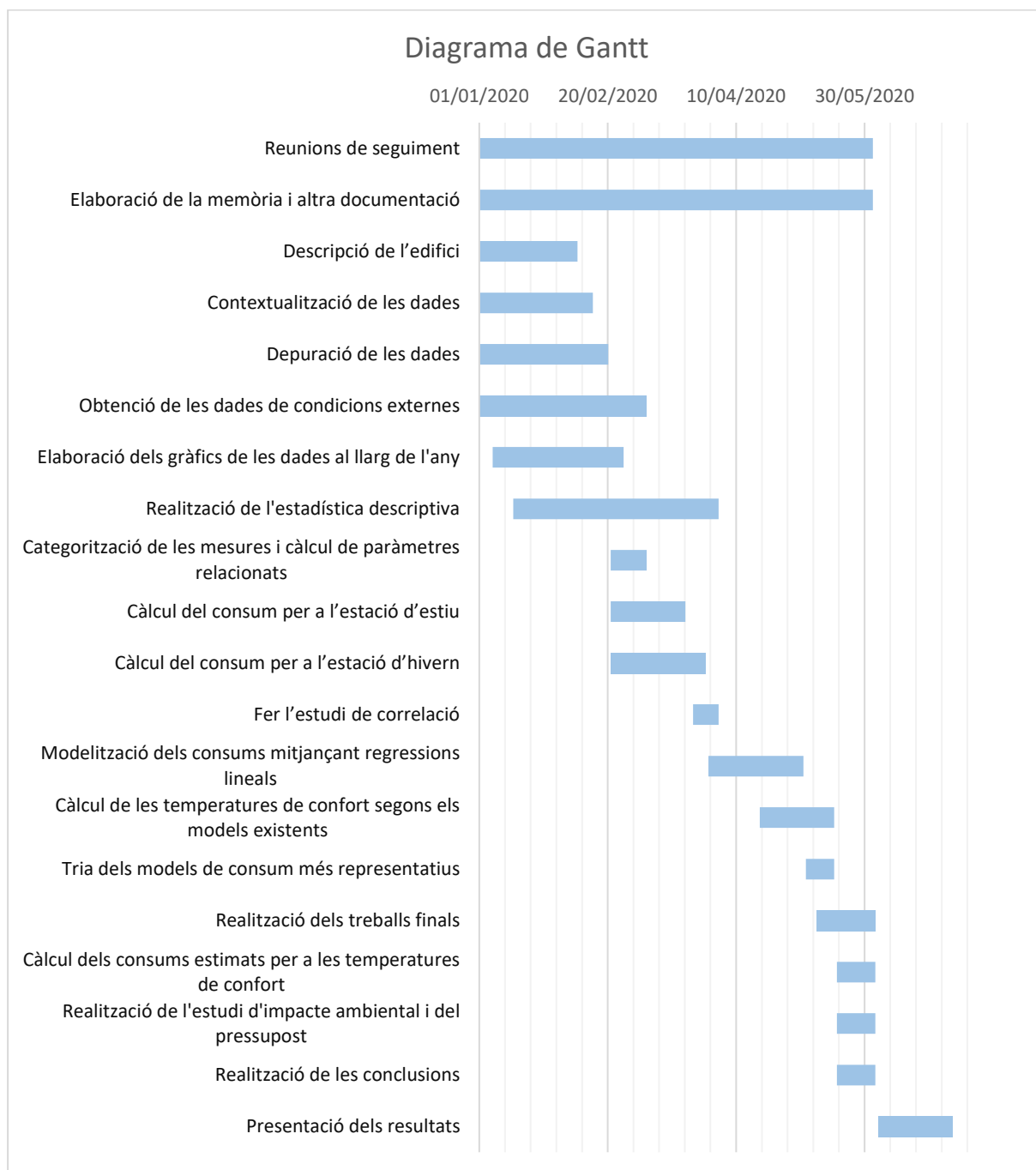
Seria vital que, en la continuació d'aquest estudi, es disposessin de les dades de consums acumulats. Al tenir unes dades de consums acumulats incoherents i sense constància en el present estudi, s'ha treballat amb les dades de consum instantani. Aquestes, però, no són tant fiables com les acumulades, ja que hi ha innumerable factors que poden influir en aquests valors instantanis i provocar que els models de consum no s'adaptin correctament a la realitat.

De ser possible, seria molt interessant poder efectuar variacions en la temperatura de consigna del sistema de climatització, ja que d'aquesta manera els models de consum segurament resultarien més precisos i fiables.

A la pàgina següent es pot veure una possible planificació d'aquest estudi continuació del treball present, si es realitzés amb dades de l'any 2019 i es comencés el 2020.



**TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA
RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES**



Gràfic 27: Diagrama de Gantt de la planificació d'un hipotètic estudi realitzat l'any 2020 i amb dades del 2019

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 99 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

9. ESTUDI D'IMPACTE AMBIENTAL

Al tractar-se d'un estudi, el present treball no tindrà un impacte directe sobre el medi ambient, però sí un d'hipotètic. Dels resultats obtinguts, es pot afirmar que:

- El fet de tenir una temperatura interior superior a les temperatures de confort dels diferents models durant l'època de calefacció, implica un sobre consum de gas, i per tant es produeix una contaminació que es podria evitar sense afectar al confort tèrmic dels residents, segons aquests models de confort tèrmic.
- En l'època de refrigeració, que correspon pràcticament a l'estiu, les temperatures interiors solen ser semblants o superiors a les temperatures de confort dels models de Hwang i Chen i d'Auliciems. En canvi, es troben al voltant de 2 °C per sota de les temperatures del model de Peeters. En funció del model de confort tèrmic escollit, s'hauria d'incrementar o de disminuir el consum d'electricitat per a refrigeració, augmentant o disminuint respectivament la petjada de carboni del centre residencial pel que fa a refrigeració.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 100 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

10. RESUM DEL PRESSUPOST

El present estudi té un cost de 8.000,00 €, que s'atribueix a les 320 hores que se li ha dedicat al treball durant 4 mesos.

Per a més informació, es recomana consultar el document adjunt "PRESSUPOST DEL TREBALL".

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</div><div>BARCELONATECH</div></div><div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div><div>ESEIAAT</div></div></div>	<div>Carles Capdevila</div>	<div>Data: 10-06-2019</div>
		<div>Pàgina: 101 de 106</div>
		<div>Document 1: Memòria del treball</div>
<div>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</div>		

11. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

A.C. Ogbonna, D.J. Harris Thermal comfort in sub-Saharan Africa: field study report in Jos-Nigeria Appl Energy, 85 (2008), pp. 1-11

A.C. Roussac, J. Steinfeld, R. de Dear A preliminary evaluation of two strategies for raising indoor air temperature setpoints in office buildings Architect Sci Rev, 54 (2011), pp. 148-156

A.C. Van der Linder, A.C. Boerstra, A.K. Raue, S.R. Kurvers, R.J. de Dear Adaptive temperature limits: a new guideline in the Netherlands a new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate Energy Build, 38 (2006), pp. 8-17

Alves C.A., Duarte D.H., Gonçalves F.L. (2016), Residential buildings' thermal performance and comfort for the elderly under climate changes context in the city of São Paulo, Brazil Energy Build., 114, 62–71.

Analitis A, Katsouyanni K, Biggeri A, Baccini M, Forsberg B, Bisanti L, Kirchmayer U, Ballester F, Cadum E, Goodman PG, Hojs A, Sunyer J, Tiittanen P, Michelozzi P (2008) Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. Am J Epidemiol 168(12):1397–1408.

ASHRAE Standard 55-2010. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers; 2010.

ASHRAE Standard 55-2013: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2013.

Auliciems, A (1981): Towards a psycho-physiological model of thermal perception, Int J of Biometeorology, 25:109-122

Bøkenes L., Mercer J.B., MacEvilly S., Andrews, J. F., i Bolle, R. (2009). Annual variations in indoor climate in the homes of elderly persons living in Dublin, Ireland and Tromsø, Norway. Eur. J. Public Health 21: 526–531

Brager, G.S. & de Dear, R.J., 1998. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. Energy and buildings, 27(1) 83–96.

C. Tzivanidis, K.A. Antonopoulos, F. Gioti Numerical simulation of cooling energy consumption in connection with thermostat operation mode and comfort requirements for the Athens buildings

de Dear, R. et al., 1998. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE Transactions, 104(March), pp.145-167.

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 102 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

E. Arens, M.A. Humphreys, R. de Dear, H. Zhang Are 'class A' temperature requirements realistic or desirable? Build Environ, 45 (2010), pp. 4-10

EN 15251:2007: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. CEN, Brussels.

F. Nicol, M. Humphreys Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251 Build Environ, 45 (2010), pp. 11-17

F. Nicol, S. Roaf Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project Energy Build, 23 (1996), pp. 169-174

Fanger, P.O., (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. British journal of industrial medicine, 30(4), 313-24.

G.Y. Yun, H.J. Kong, J.T. Kim The effect of seasons and prevailing environments on adaptive comfort temperatures in open plan office Indoor Built Environ, 21 (2012), pp. 41-47

Gelabert, D (2016) Estudio para el desarrollo de un conjunto de indicadores para la caracterización del confort de los usuarios de los edificios de Sanitas Mayores. Trabajo Final de Grado, ESEIAAT, UPC.

Guedes, M.C., Matias, L & Santos, C.P, (2009) Thermal comfort criteria and building design: Field work in Portugal," Renewable Energy, 34(11), pages 2357-2361.

H.H. Liang, T.P. Lin, R.L. Hwang Linking occupants' thermal perception and building thermal performance in naturally ventilated school buildings Appl Energy, 94 (2012), pp. 355-363

Hong L, Yuxin W, Heng Z, Xiuyuan D. (2015), Field study on elderly people's adaptive thermal comfort evaluation in naturally ventilated residential buildings in summer Heat. Vent. Air Cond., 6 015.

Hoof J., Kort H.S.M., Hensen J.L.M., Duijnste M.S.H., Rutten P.G.S. (2010) Thermal comfort and the integrated design of homes for older people with dementia Build. Environ., 45 (2) 358–370.

Hoof J., Schellen L. Soebarto J, Wong J i Kazak (2017) Ten questions concerning thermal comfort and ageing, Building and Environment 120 (2017) 123-133.

Hoof, J. Hensen J.L.M. (2006) Thermal comfort and older adults. Gerontchnology 4(4).

Huang C, Barnett AG, Wang X, Tong S. (2012) Effects of extreme temperatures on years of life lost for cardiovascular deaths: a time series study in Brisbane, Australia.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div> <div>ESEIAAT</div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 103 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

Humphreys M & Nicol F (2017) Towards an adaptive model for thermal comfort in Japanese offices Building Research and Information, v 45, n 7, p 717-729, October 3, 2017

Hwang, R.L., Chen, C.P., (2010). Field study on behaviors and adaptation of elderly people and their thermal comfort requirements in residential environments. Indoor Air 20 (3), 235–245.

ISO 14415:2005: Ergonomics of the thermal environment - Application of International Standards to people with special requirements.

ISO 8996:2004: Ergonomics of the Thermal Environment determination of Metabolic Heat Production.

J.F. Nicol, M.A. Humphreys New standards for comfort and energy use in buildings Build Res Inform, 37 (2009), pp. 68-73

Jiao, Y, Yu, H. Wang, Z. Wei, Q. Yu, Y. (2017) Influence of individual factors on thermal satisfaction of the elderly in free running environments, Build. Environ. 116 218:227.

K.W.H. Mui, W.T.D. Chan Adaptive comfort temperature model of air-conditioned building in Hong Kong Build Environ, 38 (2003), pp. 837-852

L. Yang, H. Yan i J.C.Lam: "Thermal comfort and Building energy consumption implications: A review" Applied Energy 115; pp: 164-173, 2014

L. Peeters, R. de Dear, J. Hensen, W. D'haeseleer Thermal comfort in residential buildings: comfort values and scales for building energy simulation Appl Energy, 86 (2009), pp. 772-780

Lanzinger, S., Hampel, R., Breitner, S., Ruckerl, R., Kraus, U., Cyrus, J., Geruschkat, U., Peters, A., and Schneider, A. (2014) Short-term effects of air temperature on blood pressure and pulse pressure in potentially susceptible individuals. Int. J. Hyg. Environ. Health 217: 775–784

M. Indraganti Thermal comfort in naturally ventilated apartments in summer: findings from a field study in Hyderabad, India Appl Energy, 87 (2010), pp. 866-883

M.A. Humphreys Thermal comfort temperatures world-wide – the current position Renew Energy, 7 (1996), pp. 139-144

M.J.N.O. Pano, S.M.L. Camelo, H.J.P. Goncalves Assessment of the Portuguese building thermal code: newly revised requirements for cooling energy needs used to prevent the overheating of buildings in the summer Energy, 36 (2011), pp. 3262-3271

M.K. Singh, S. Mahapatra, S.K. Atreya Adaptive thermal model for different climatic zones of North-East India Appl Energy, 88 (2011), pp. 2420-2428

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</p> <p>ESEIAAT</p>	<p>Carles Capdevila</p>	<p>Data: 10-06-2019</p> <p>Pàgina: 104 de 106</p> <p>Document 1: Memòria del treball</p>
<p>TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES</p>		

Mendes A, Pereira C, Mendes D, Aguiar L, Neves P, Silva S, Batterman S, Teixeira J.P. (2013), Indoor air quality and thermal comfort—results of a pilot study in elderly care centers in Portugal J. Toxicol. Environ. Health, Part A, 76 (4–5), 333–344.

Mendes, A, Bonassi, S, Aguiar, L, Pereira, C, Neves, P, Silva, S, Mendes, D, Guimaraes, L, Moroni, P, Teixeira, J.P, (2015) Indoor air quality and thermal comfort in elderly care centers, Urban Clim. 14 486:501.

Mendes, A., A. L. Papoila, P. Carreiro-Martins, L. Aguiar, S. Bonassi, I. Caires, T. Palmeiro, A. S. Ribeiro, P. Neves, C. Pereira, A. Botelho, N. Neuparth, i J. P. Teixeira. 2017. "The influence of thermal comfort on the quality of life of nursing home residents." J Toxicol Environ Health A:1-11. doi: 10.1080/15287394.2017.1286929.

Mendes, A., i Teixeira, J. P. (2014). Sick building syndrome. Encyclopedia of Toxicology, 3rd edition, vol 4., edited by P. Wexler, 256–260. Elsevier Inc. Academic Press, the Netherlands.

Molina, M. (2017) Estudio sobre las condiciones de confort en edificios de residencias para personas mayores. Trabajo Final de Grado, ESEIAAT, UPC.

Naciones Unidas, (2017), Department of Economic and Social Affairs Population Division. World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables.

Nicol F & Humphreys M (2010) Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251 Build. Environ., 45 (1) 11-17.

Ormandy, D., i Ezratty, V. (2012). Health and thermal comfort: From WHO guidance to housing strategies. Energy Policy, 49: 116–121.

P.O. Fanger, J. Toftum Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates Energy Build, 34 (2002), pp. 533-536

Peeters, L., de Dear, R. J., Hensen, J., & D'haeseleer. (2009). Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. Applied Energy, 86, 772–780

Pujol, J. (2017) Estudio sobre la implantación de mejoras de eficiencia energética de las instalaciones de climatización y ventilación de uno de los edificios de Sanitas Mayores y su adecuación al confort de sus residentes. Trabajo Final de Máster ESEIAAT, UPC.

R. de Dear Thermal comfort in practice Indoor Air, 14 (2004), pp. 32-39

R. Karunakaran, S. Iniyan, R. Goic Energy efficient fuzzy based combined variable refrigerant volume and variable air volume air conditioning system for buildings Appl Energy, 87 (2010), pp. 1158-1175

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div> <td rowspan="3">Carles Capdevila</td> <td>Data: 10-06-2019</td>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 105 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

R. Yao, J. Liu, B. Li Occupants' adaptive response and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms Appl Energy, 87 (2010), pp. 1015-1022

R. Zmeureanu, A. Doramajian Thermally acceptable temperature drifts can reduce the energy consumption for cooling in office buildings Build Environ, 27 (1992), pp. 469-481

R.J. de Dear, G.S. Brager Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55 Energy Build, 34 (2002), pp. 549-561

Raymann, R., i Van Someren, E. (2008) Diminished capability to recognize the optimal temperature for sleep initiation may contribute to poor sleep in elderly people. Sleep 31: 1301–1309.

Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

Rijal H.B. Humphreys M & Nicol F (2009) Understanding occupant behaviour: the use of controls in mixed-mode office buildings Building Research & Information, v 37, n 4, p 381-96, July 2009

Rijal H.B. Humphreys M & Nicol F (2017) Towards an adaptive model for thermal comfort in Japanese offices Building Research & Information, v 45, n 7, p 717-29, 2017

S. Roaf, F. Nicol, M. Humphreys, P. Tuohy, A. Boerstra Twentieth century standards for thermal comfort: promoting high energy buildings Architect Sci Rev, 53 (2010), pp. 65-77

S.A. Al-Sanea, M.F. Zedan Optimized monthly-fixed thermostat-setting scheme for maximum energy-savings and thermal comfort in air-conditioned spaces Appl Energy, 85 (2008), pp. 326-346

S.B. Sadineni, R.F. Boehm Measurements and simulations for peak electrical load reduction in cooling dominated climate Energy, 37 (2012), pp. 689-697

S.C. Sekhar Higher space temperatures and better thermal comfort – a tropical analysis Energy Build, 23 (1995), pp. 63-70

Schellen, L, van Marken Lichtenbelt W.D, Loomans, M.G.L.C. Toftum, J, De Wit M.H. (2010), Differences between young adults and elderly in thermal comfort, productivity, and thermal physiology in response to a moderate temperature drift and a steady-state condition, Indoor air 20 (4) 273:283.

T.T. Chow, J.C. Lam Thermal comfort and energy conservation in commercial buildings in Hong Kong Architect Sci Rev, 35 (1992), pp. 67-72

<div><div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa</div></div><div>ESEIAAT</div></div>	Carles Capdevila	Data: 10-06-2019
		Pàgina: 106 de 106
		Document 1: Memòria del treball
TFG: ESTUDI DE L'AFECTACIÓ DEL CONFORT TÈRMIC AL CONSUM ENERGÈTIC EN LA RESIDÈNCIA "SAGRADA FAMÍLIA" DE SANITAS MAYORES		

Tsuzuki, K., i Iwata, T. (2002). Thermal comfort and thermoregulation for elderly people taking light exercise. Proceedings of Indoor Air 02, edited by H Levin, 647–652. Monterey, CA, USA.

Tweed C, Humes N, Zapata-Lancaster G (2015), The changing landscape of thermal experience and warmth in older people's dwellings Energy Policy, 84, 223–232.

UNE-EN ISO 7730:2005: Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.

Vandentorren S, Bretin P, Zeghnoun A, Mandereau-Bruno L, Croisier A, Cochet C, Riberon J, Siberan I, Declercq B, Ledrans M, (2006), August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. Eur. J. Public Health 16, 583–591.

Wolf, K., Schneider, A., Breitner, S., von Klot, S., Meisinger, C., Cyrys, J., Hymer, H., wichmann, H. E., Peters, A. i Cooperative Health Research in the Region of Augsburg Study Group. (2009). Air temperature and the occurrence of myocardial infarction in Augsburg, Germany. Circulation 120: 735–742.

Yang J, Nam I, Sohn J.R. (2016), The influence of seasonal characteristics in elderly thermal comfort in Korea Energy Build., 128, pp. 583–591.